

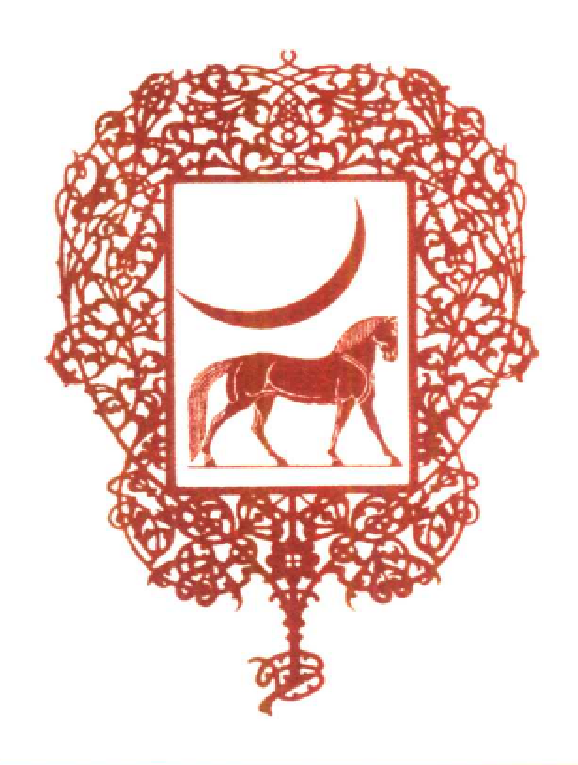

# 协同学

## 大自然构成的奥秘

ERFOLGSGEHEIMNISSE DER NATUR
SYNERGETIK: DIE LEHRE VOM ZUSAMMENWIRKEN

[德] 赫尔曼·哈肯　著

凌复华 译

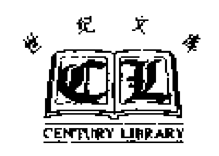








C E N T U R Y　L I B R A R Y
上海世纪出版集团　上海译文出版社
CENTURY PUBLISHING GROUP OF SHANGHAI

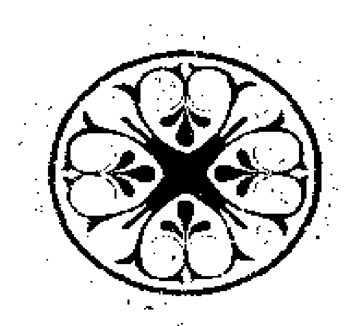



# 协同学
## 大自然构成的奥秘

ERFOLGSGEHEIMNISSE DER NATUR
SYNERGETIK: DIE LEHRE VOM ZUSAMMENWIRKEN

[德] 赫尔曼·哈肯 著

凌复华 译



上海世纪出版集团 上海译文出版社
CENTURY PUBLISHING GROUP OF SHANGHAI

图书在版编目(CIP)数据

协同学:大自然构成的奥秘/(德)哈肯(Haken)著;凌复华译.—上海:上海译文出版社,2001.8
(世纪文库)
书名原文:SYNERGETIK
ISBN 7-5327-2613-4

Ⅰ.协... Ⅱ.①哈...②凌... Ⅲ.协同学 Ⅳ.O415.2
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 09299 号

责任编辑 赵凤珍
封面装帧 王晓阳

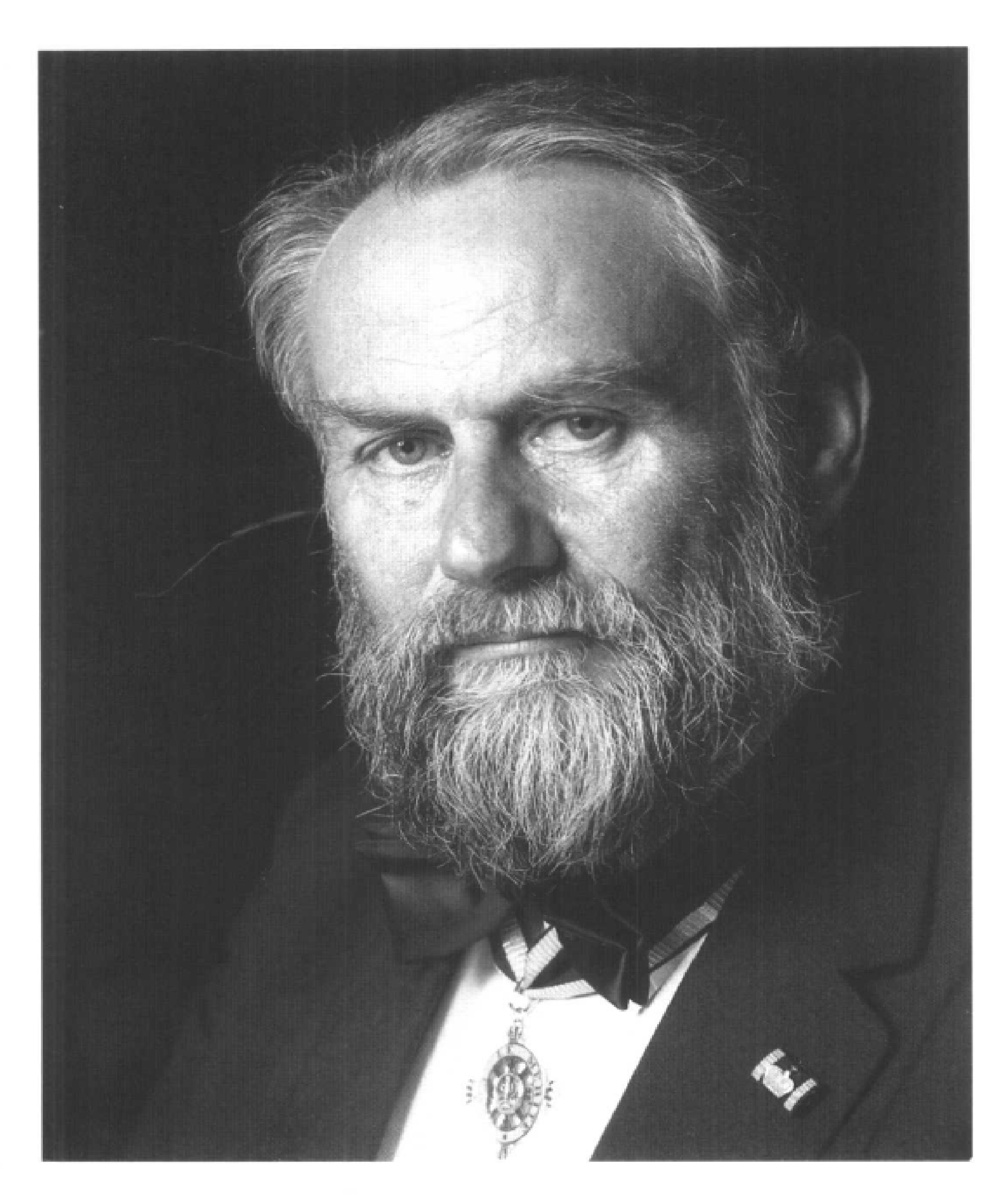
Hermann Haken
ERFOLGSGEHEIMNISSE DER NATUR
SYNERGETIK: DIE LEHRE VOM ZUSAMMENWIRKEN

根据斯图加特德意志出版社 1986 年第 4 版译出

图字:09-1996-101 号

·世纪文库·
协同学——大自然构成的奥秘
[德]赫尔曼·哈肯 著
凌复华 译
世纪出版集团
上海译文出版社出版、发行
(上海市福建中路 193 号 邮政编码 200001)
新华书店上海发行所经销
上海中华印刷有限公司印刷
开本 890×1240 1/32 印张 8.25 插页 8 字数 184,000
2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷
印数:0,001-6,000 册
ISBN7-5327-2613-4/B·122
定价:17.50 元





赫尔曼· 哈肯



# “世纪文库”出版说明

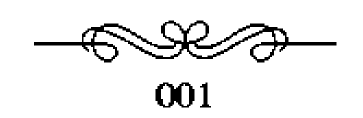
为了系统整理和充分展现上海世纪出版集团的学术文化资源，进一步拓展我们的文化视域，大力推动中国学术创造与前进的步伐，我们决定出版“世纪文库”。

“世纪文库”定位于出版高质量的优秀学术图书，特别是已获定评的中外学术经典。“文库”分两大类，即著作类与译作类。“文库”将涉及人文、社会科学的各个领域，如哲学、史学、文学、经济学、社会学、人类学、心理学、政治学、法学、教育学、语言学，等等。

作为一套开放性的学术丛书，“文库”将始终注重所收著作的重要性、原创性和开拓性。为严格保证“文库”的学术质量，在较长的一段时间内，“文库”将主要重版集团内外已经出版的、经时间检验确属学术精品的图书。“文库”已建立起一套严格的专家评审机制，所有人选图书都在有关专家论证、审定的基础上，由编委会讨论确定。

我们希望“世纪文库”的出版能助益于人类优秀文化的积累与建设，成为世纪性的学术文库；我们也敬盼学界支持我们的追求，让我们共同建设中国学术的未来。

上海世纪出版集团





# 作者为中译本写的序

改善每个人的生活是人类当今最重要的任务之一。无论对社会或对个人来说，这个任务所提出的问题日益复杂。自然科学、工程科学和社会科学必须为解决这些问题奠定基础。为此，它们像目前那样仅仅提供许多零星的新成果是不够的；这个任务的复杂性要求各门不同科学之间密切对话。只有通过它们的共同努力，这些复杂问题才能得到解决。鉴于零星分散的成果十分繁多，也鉴于专业术语和工作方法各不相同，看来越益紧迫的是，亟待找到一些基本原理，并从哲学上予以透彻剖析。

这里谨向推出包括本书在内的一套丛书的出版社致以祝贺，它担负起了使各种科学之间的对话成为可能的任务。

现在置于中国读者面前的这本中译本，正好有着刚才简述过的目标，即找出那些能适用于迥然不同的科学领域，也包括社会科学在内的共同原理。提出这些原理的协同学，特别注目于一个系统的结构在性质上发生宏观变异的那些情况。如同我们将在本书中阐明的，这些情况往往是最有意义的，它们可能出现在物理学乃至经济学的极不相同的领域内。

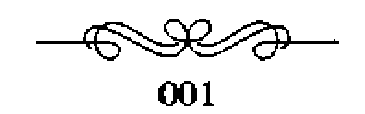
我希望本书能以这种方式对于理解复杂系统有所裨益，并使读者受到激励，对复杂的问题能采用新的思想法则去获得解决，或者哪怕只是使读者能在一个越来越复杂的世界中理出个头绪来。





对本书的译者凌复华教授卓有价值的工作,我理所当然地致以深厚的谢意。

赫尔曼·哈肯

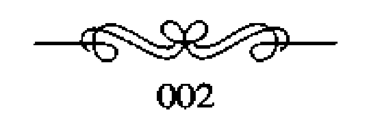




# Vorwort zur chinesischen Übersetzung des Buches **Erfolgsgeheimnisse der Natur**

Die Verbesserung des Lebens jedes einzelnen Menschen ist heutzutage eine der wichtigsten Aufgaben der Menschheit. Diese Aufgabe stellt sowohl die Gesellschaft als auch den Einzelnen vor immer komplexere Probleme. Zu ihrer Lösung müssen die Naturwissenschaften, die Ingenieurwissenschaften und die Sozialwissenschaften die Grundlagen liefern. Hierzu genügt es aber nicht nur, daß diese wie bisher eine Fülle einzelner neuer Ergebnisse erbringen, sondern die Komplexität der Aufgaben erfordert einen engen Dialog unter den verschiedenen Wissenschaften. Nur durch deren gemeinsame Bemühungen können die komplexen Probleme gelöst werden. Angesichts der Fülle der Einzelresultate, der verschiedenen Terminologien und der unterschiedlichen Arbeitsmethoden erscheint es zugleich immer dringender, grundlegende Prinzipien herauszuarbeiten und diese philosophisch zu durchdringen. Der Verlag, der diese Serie, in dem dieses Buch erscheint, herausbringt, ist daher zu beglückwünschen, daß er sich der Aufgabe, einen Dialog zwischen den Wissenschaften zu ermöglichen, unterzieht.

Mein eigenes Buch, das dem chinesischen Leser hiermit in chinesischer Sprache vorliegt, hat die eben angedeutete Zielsetzung, nämlich




gemeinsame Prinzipien herauszuarbeiten, die in den verschiedensten Wissensgebieten, einschließlich der Soziologie, Geltung haben. Die Synergetik, in der diese Prinzipien erarbeitet wurden, richtet dabei insbesondere ihr Augenmerk auf solche Situationen, wo sich die Struktur eines Systems qualitativ makroskopisch ändert. Wie wir in diesem Buch darlegen werden, sind dies häufig auch die interessantesten Situationen, die in den verschiedensten Gebieten von der Physik bis hin zu den Wirtschaftswissenschaften auftreten können.

Ich hoffe, daß auf diese Weise mein Buch etwas zu dem Verständnis komplexer Systeme beitragen kann, und der Leser selbst Anregungen erhält, um selbst neue Denkansätze zur Lösung komplexer Probleme zu erhalten oder auch nur, um sich in einer immer komplexer werdenden Welt zurechtzufinden.

Dem Übersetzer dieses Buches, Professor Ling Fu Hua, bin ich für seine wertvolle Arbeit zu großem Dank verpflichtet.




# 第四版前言

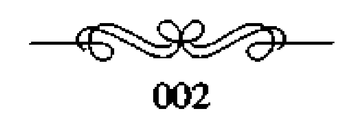
本书第一版早于1981年问世，现在看来有必要就协同学的进一步发展以及本书的现实意义作几点评述，从而对第一版前言进行补充。本书在这段时间内，已被译成英文、意大利文和西班牙文出版，日文译本也行将面世。

我十分高兴的是，这些版本在德国国内和国外都得到了好评。尽管如此，我还是认为有必要再次检验本书的现实意义，并考察协同学新近的发展。结果表明，协同学的进一步发展只是不断地证实了书中的立论，因此无需对本书的内容作实质性的改动。

不仅如此，这段时间内在物理学、化学和其他领域中进一步发现了一系列现象，它们完全属于协同学的范围。此外，还可以开辟协同学的新的应用领域，特别是在生物学和医学方面。由此得以就运动过程中肌肉与四肢的配合发展新的概念，从而对生理学的这个困难的领域提供新的认识。同时，也能就(例如)群体动力学与(特别是)家族治疗建立有意义的和重要的横向联系。

本书在东亚，在印度、中国和日本，引起了特殊的反响。事实上，协同学与东亚对世界的整体性观察方式颇相一致。看来，对于中医学以及瑜伽术，都能找到有意义的联系。

但最终我不得不放弃把这些全新的内容纳入本书，因为这样一来会大大超越本书的范围和篇幅。也许，这些将成为一本新书的精髓。因此，我只限于就一些新的研究结果，尤其是在激

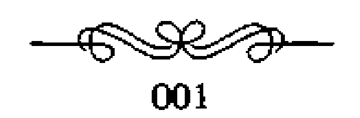



光混沌方面的，稍微给出几点提示。

此外，我还在书末增添了一些参考书目，以便对此有兴趣的读者也能了解最新的专业文献。

赫尔曼·哈肯

1986年春于斯图加特

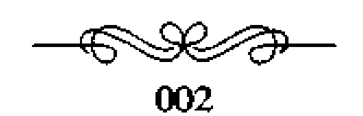




# 前　　言

自然界，尤其是动物界和植物界，常以其形态的繁多，结构的精致，以及结构中各组成部分极其巧妙的协作，而使我们惊叹不止。以往，世世代代的人们认为这些结构出自上帝所赐。如今，科学则日益关注这些结构究竟是怎样产生的，是什么力量在起作用的问题。有鉴于直至近日，结构的自产生似还被认为与物理学原理相矛盾，本书就不啻为科学思想的一个转折点。我们基于如下的认识出发：甚至在无生命物质中，新的、井然有序的结构也会从混沌中产生出来，并随着恒定的能量供应而得以维持。本书从物理学和化学方面，提供了有关这种发现的极富启发性的实例，诸如激光束的有序排列，液体的蜂窝模式和化学的螺线形波。由此可见，结构的形成是以普遍适用的规律为基础的。具此认识，就能研究较为复杂的问题，如动物细胞模式形成的受控，商业公司集体行为方式对经济事态的左右，以及社会舆论的形成所取决的法则。在所有这些过程中，许许多多的个别部分几乎总以一种富有意义的方式协同行动。

确如人们所说，我们面临着“复杂系统”。对此可从各种角度加以观察：可以考察个别组成部分的功能，也可以对该系统作整体性研究。第一种方法有如竞技，按照参加各方据以依次行动的规则开始，由此最终得出一种“模式”。曼弗雷德·艾根和鲁蒂尔德·温克勒合著的《竞技论》一书（皮佩尔出版社，1976年版），令人信服地表明了这一点。




协同学即“协调合作之学”,所取的是第二种途径。这里很少探讨个别的基本规则,而旨在发现结构赖以形成的普遍规律。尽管所有比喻都有不足之处,但不妨用下国际象棋作比,对协同学略加说明。我们可以不时地举棋落子,并跟踪观察每一步棋的走法。但也可以究问:一盘棋的终局如何? 显然,众所熟知,不是白王被擒,就是黑王就缚,或则握手言和。虽然整个对局中一着着棋非常复杂,但最终结局寥寥数语即可说明。协同学研究结构形成时的情况也相仿佛,探讨的是最终形成的总体模式。我们由此会认识到,存在着普遍的更高层次的必然性,它们导致新的结构和新的模式。在科学领域里所获得的关于集体行为的知识,确定无疑也与我们的个人事务有关,无论是在经济领域中,还是在社会领域里。然而,本书并不提供这方面的现成解答。作者希望本书有助于激发思考,但不为我们自己的行为开具万应良方。我们甚至将提出并证明这样的命题:要找到准确无误的解答,往往是完全不可能的。这也就为认识矛盾的本质和怎样解决矛盾提供了新的思路。

协同学的领域正在迅猛发展,这既可见诸国际会议的日益增多,也可从大众汽车公司基金会把协同学列为科技领域的重点项目予以促进一事中得到佐证。施普林格出版社为协同学专门出版了《施普林格协同学丛书》。科学家们对这一新领域早已心向往之,本书意在使感兴趣的非专业人员对此也能初涉门径。

现在,科学对我们“负债”的说法不绝于耳。据我看来,社会与科学同生共存,不可分离。社会之于科学,一如科学之于社会,都是兴亡攸关。因而沟通二者的每一座桥梁都至关重要。对科学家来说,偿还负债并非易事。总的说来,愿望是有的,但科学的语言——尤其是用到数学时——与日常用语相距太远,以致转译甚为困难。我倒认为,无论是在自然科学或者如经济





学中的一个过程,科学家往往只有在无需借助任何公式,单凭日常用语就能予以说明时,才算完全理解了它。也正是把自己的思想对非专业人员讲清楚的那种需要,使科学家对主要的相互关联有了新的洞见。

希望我对这一新学科的论述能给读者以鼓舞和启迪,从而应用大自然构成的奥秘为自己和整个人类谋福利。

感谢我的妻子,她评阅原稿,提出了宝贵的改进意见;感谢乌尔苏拉·冯克夫人迅速打出了完美的定稿,她不倦的热忱,对我成功地完成全书大有帮助。

对德意志出版社的工作人员,特别是勒伯博士和洛克夫人给予了难能可贵的合作,在此一并致谢。

赫尔曼·哈肯

1981年春于斯图加特

# 目录





# 1
# 引言和概述

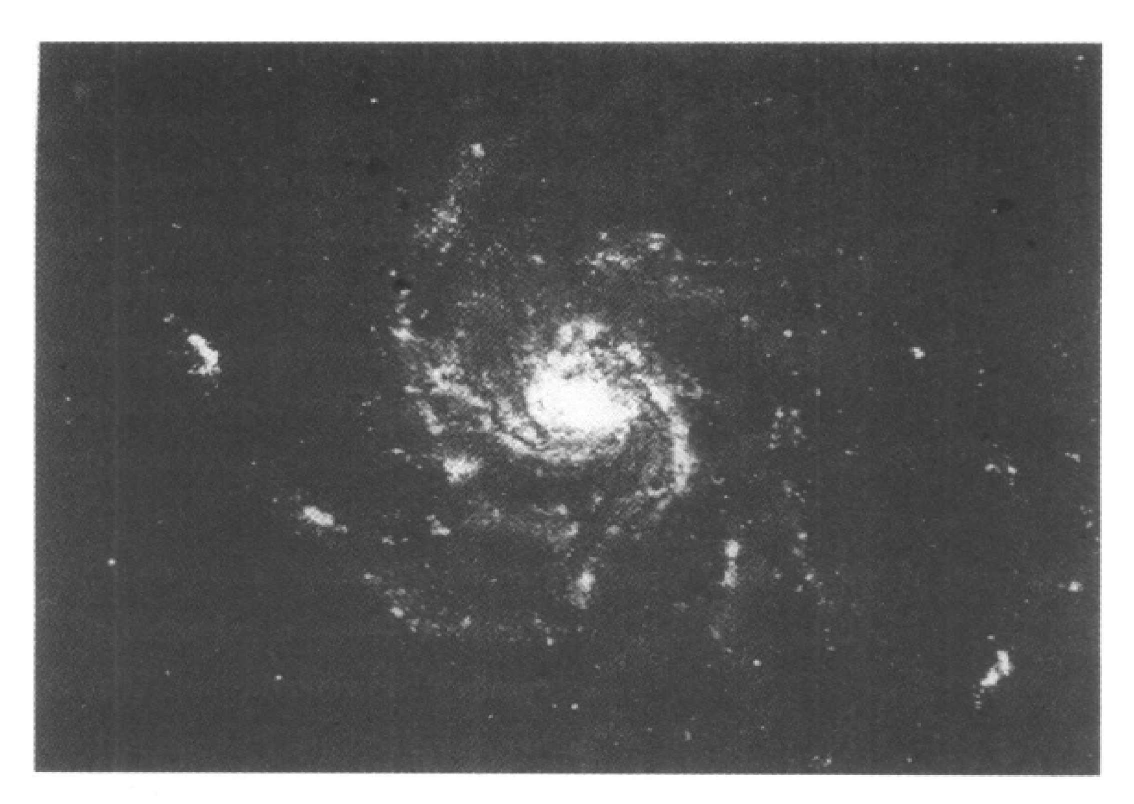
## 为什么这本书会使你感兴趣

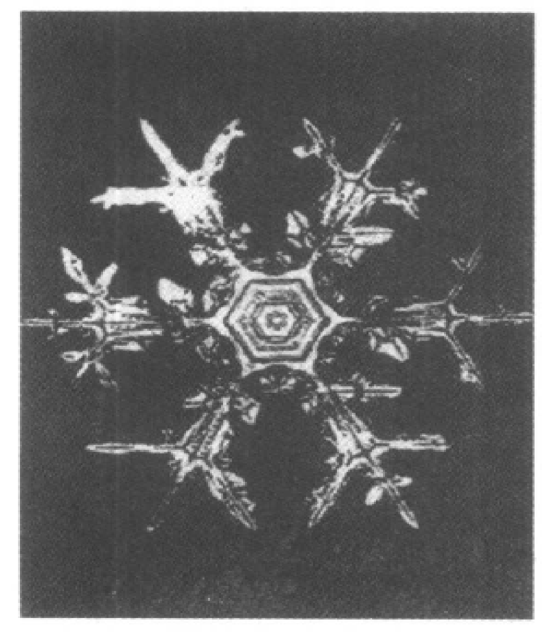
大千世界之组成，品类繁多不可胜计。其中不少出于人的创造，如房屋、汽车、工具、绘画，但其他许多则系大自然的产物。对科学家而言，这包罗万象的世界乃是一个遵循着严格规律、结构有方、秩序井然的世界。把望远镜头朝向无限深邃的宇宙空间，我们将看到如图1·1所示的旋涡星云。星云的旋臂似的结构和布局清晰可见。在旋臂的气体中，新的光芒熠熠的星球不断形成，数目之多难以想象。我们的地球和太阳也属于一个旋涡星云——银河。当夜空澄澈之际，仰望苍穹，银河粲然可辨。银河系中的星球多达千亿，这一数字超过人的理解能力，而我们的太阳不过是其中之一。地球则和其他行星一起，循着不变的规律，绕着太阳旋转。

然而要看到结构，根本不必骋目天宇。无数实例充斥于日常环境之中。结构规则的雪花晶体（图1·2）即是其中一例。生物界的千姿百态一直使我们惊讶不已，有些形态可能非常奇特。图1·3是热带蝇眼睛的放大图，蝇眼位于蝇头部突出的一根柄上。蝇眼的蜂窝状结构整齐匀称，令人为之倾倒。同时，整个







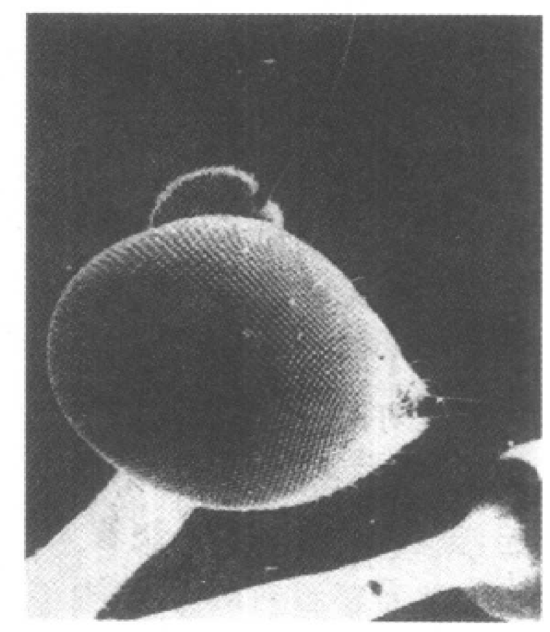




图 1.1　旋涡星云。　　图 1.2　雪花晶体。

图 1.3　一种热带绳的眼柄，六角形结构为其显著特征之一。

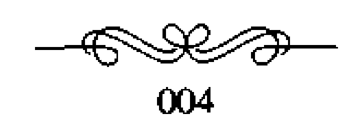
“构造”亦显得颇具匠心，因为能对周围事物一览无遗。我们见到的动植物的形态千差万别，多得难以置信，而各种形态本身又十分和谐协调，常使人心旷神怡。我们往往发现，生物的结构是极重实用的，但一看到许多植物的艳美绚丽的花朵，又不觉惊诧于大自然的风趣和娇纵。

然而，不只是静态的结构令人赞羡不已；连续动作的有序性，如马蹄得得的节律或优美的舞姿，也让人赏心悦目。在人类社会中，我们看到更高级的结构。社会以一定的国家形式组成，而国家形态则千差万别。在纯精神领域中，如语言、音乐和科学世界中，我们也遇到种种结构。因而，从无生命界到生命界，乃至精神世界，我们不断碰到各种结构；我们对此已经习以为常，以致不复意识到其存在的奇妙。

过去，人们把各种结构视为上帝所赐，如《旧约·创世记》载明的那样。科学家长期以来也只专门研讨结构的组织，而不究其起源。只是近年来，才对后一问题兴趣日浓。要对这类结构加以阐释，除非我们愿意假设存在着一种超自然的力量，亦即主张有一种新的创世活动，那么科学就有这样一种任务：阐明结构是怎样自发形成的，或者换句话说，结构是怎样自行组织起来的。

## 探寻一个统一的宇宙观

结构如此多种多样，人们难免寻思它们究竟是如何产生的。乍看起来，这是一桩结果难以预料的事儿。为了解析结构的组成，已经耗费并在继续耗费一代又一代科学家的精力。为了解



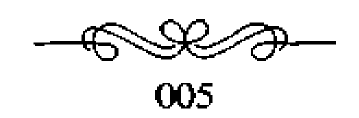


开结构由来之谜，岂不要花费更多的劳动和努力？确实，假如每一结构的产生都是遵循仅仅适用于它的非常特殊的规律，那就不是写一本书所能充分说明，这类知识的著作势将汗牛充栋了。

这里我们面对着这么一种想法，它好像一条线那样贯穿一切科学：一方面要搜集各种事实，另一方面又要力求得出一种统一的宇宙观。这种努力是人所熟知的，尤见于自然科学，如物理学、化学、生物学中，也见于哲学方面。对物理学基本规律的探索，我们已耳熟能详。伊萨克·牛顿（1642—1727 年）的运动定律和万有引力定律，阐明了行星环绕太阳的运动，而这是古代人不能以统一的原理来理解的。詹姆士·克拉克·麦克斯韦（1831—1879 年）使我们懂得，光无非是一种电磁振动，犹如无线电波那样。阿尔伯特·爱因斯坦（1879—1955 年）成功地把重力与时空联系起来。在化学中，德米特里·伊·门捷列夫（1834—1907 年）首先用元素周期律把无数化学物质排列得井然有序。近代原子物理学能够从原子结构的基本规律导出周期律。在生物学中，孟德尔定律阐明了各种特性是怎样遗传的，例如不同颜色的花杂交时的情况。当代则发现遗传的化学基础在于生物大分子，即所谓 DNA（脱氧核糖核酸），从而圆满地揭示了生物遗传的本来面目。

类似的例子不胜枚举。它们表明，人们正在不断发现支配大自然功能的统一的基本规律。

虽然纷繁驳杂的现象可以归纳为少数几条基本规律，而与此同时科学研究正不断揭示出种种关于更为复杂的反应的新事实，以致我们几乎经常被这类浩如烟海的资料压得透不过气来。在科学探索中，一方面是大量涌现的新事实，另一方面是对它们分门别类，发现其意义和它们与普遍规律的一致性，这两者之间的竞逐永无止境。

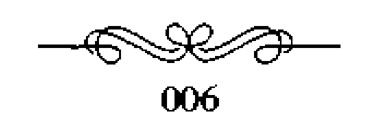




# 分解或建构

怎样才可望理解结构或其中的过程呢？一种流行而往往有效的方法是把研究对象分解为越来越小的部分。物理学家把晶体(第3章将作详细探讨)分解为原子，又把原子分为更小的粒子，即原子核和电子。现代物理学研究的一个重要分支就是与更为“基本”的粒子——夸克和胶子打交道，但两者也许还都不是物质的最基本的构件。生物学家从组织分剖出细胞，再把细胞分解成诸如细胞膜和细胞核等组成部分，进而又把细胞核分拆成生物分子这种组成形式。我们可以从各种各样的科学领域补充不可胜数的例子。确实，科学本身也已分为形形色色的分支：数学、物理学、化学，乃至社会学和心理学等。

然而，采用这种方法的研究者，其体验可能很像得到一辆玩具汽车的小孩。小孩很快想知道，汽车为什么会跑，就把它拆成各个零件。一般来说，这是他不难做到的。但我们往往看到他坐在一摊部件面前哭鼻子，因为他还是搞不清汽车怎么会跑的，他也没法将那些零件重新拼成一个有点意义的整体。因此，他小小年纪就体会到一句箴言的含义：整体大于部分的总和；或如歌德所说：“部分已在我掌中；所惜仍欠精神链锁。”应用到各种科学领域，这意味着：即使发现了结构怎样组成，还得明白组件如何协作。正如下文就要谈到的那样，这与结构是怎样产生的这个问题密切相关。协同学的问世就是为了处理这一系列问题。如同许多科学术语一样，“协同学”源于希腊文，意为“协调合作之学”。我们希望这一概念会让我们发现，尽管大自然展示





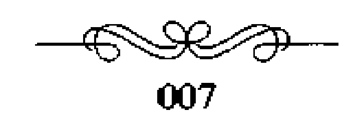
的结构千差万别,我们能否认定一些统一的基本规律,从而说明结构是怎样建成的。显然这听起来很是含混空洞,我必须承认唯一确切的答案要以一种数学理论为根据,我在广泛的应用中业已证实了它的有效性。另一方面,我们手头现成的大量实例则使我们能相当清楚地描述基本的反应。我们可以利用比如机械学方面的简单实例。这当然并不意味我打算在这里倡导一种机械论的宇宙观。但是,我们的语言借用了许多机械学术语。例如"平衡"一词,其原始意义让人联想起一架天平,两边放着等量的砝码。秤盘不动,意味着处于"平衡"状态。而当我们提及精神平衡时,谁也不会认为我们是用机械论来解释我们的心智。本书的读者对此最好谨记勿忘,因为我不但要探讨物质世界的结构,而且还要涉及精神世界的结构,例如经济或文化的发展。

## 生物结构与基本自然规律矛盾吗?



物理学自命为卓越的基础自然科学。它研究物质,而由于一切东西皆为物质所构成,因此一切物质的东西必然合乎物理学的规律。可是例如在生物学家中间,就未必总是持有这种信念。活力论者力言,在生物体中还有着它们自己的独特的生命力。在科学家成功地把化学反应基本上归结为物理反应(例如化学键或原子结构)之后,现今很少有人怀疑,有可能在理论上用物理过程来阐明基本的生物学反应。顺便提一下,我们在作此陈述时给自己留了一条后路,即加上了"在理论上"这一限制词。我们即将说明所涉及的一系列问题。

让我们暂时来探讨一下物理学规律也适用于生物学这种过




于简单化的论断。仅在几年以前，那些把生物学可能归结为物理学的主张当真的人就很快陷于矛盾之中。如果有人问起物理学家，生命的起源是否遵照物理学的基本规律，那么他不能不严肃认真地予以否认。为什么？按照物理学的基本规律，更确切地说按照热力学的基本规律，宇宙的混沌应当不断增加。一切有规律的功能顺序应当停止，一切有序性应当崩解。

许多第一流的物理学家认识到，摆脱这种困境的唯一出路是把自然界中有序状态的形成看作为一种巨大的涨落现象，而按概率论的法则这又具有随机不可能性。这真是想入非非，可是在所谓的统计物理学的范围里来看却是唯一可采纳的观念。

第2章将说明，为什么物理学家认为无序性必然有增无已。我们会清楚地看到，物理学为结构的形成，例如晶体的形成，留下了一条重要的后路。但我们也将知道，那些是无生命的结构。物理学主张生物学的反应是基于物理学规律，而生命的起源却又与物理学的基本定律相矛盾，它是否因而陷入了一条死胡同呢？一次幸运的偶然事件帮助我们突破了这个恶性循环。我们发现，物理学自身为创建出某种活性秩序的过程提供了一个绝妙先例，尽管在此过程中严格地依循物理学规律，而且事实上非此就不能建成这种秩序。这就是激光，一种已广为人知的新光源。这个例子会使我们明白，无生命的物质也能自发组织，产生富有意义的过程。我们将遇到一种为所有自组织现象共有的对自然规律的非常惊人的一致性(图1·4)。我们将认识到，单个组元好像由一只无形之手促成的那样自行安排起来，但相反正是这些单个组元通过它们的协作才转而创建出这只无形之手。我们称这只使一切事物有条不紊地组织起来的无形之手为序参数。然而这样一来，似乎又陷入了一个恶性循环。

序参数由单个部分的协作而产生，反过来，序参数又支配各

部分的行为。这样又回到了先有鸡蛋还是先有雌鸡(只字不提雄鸡)的老问题。

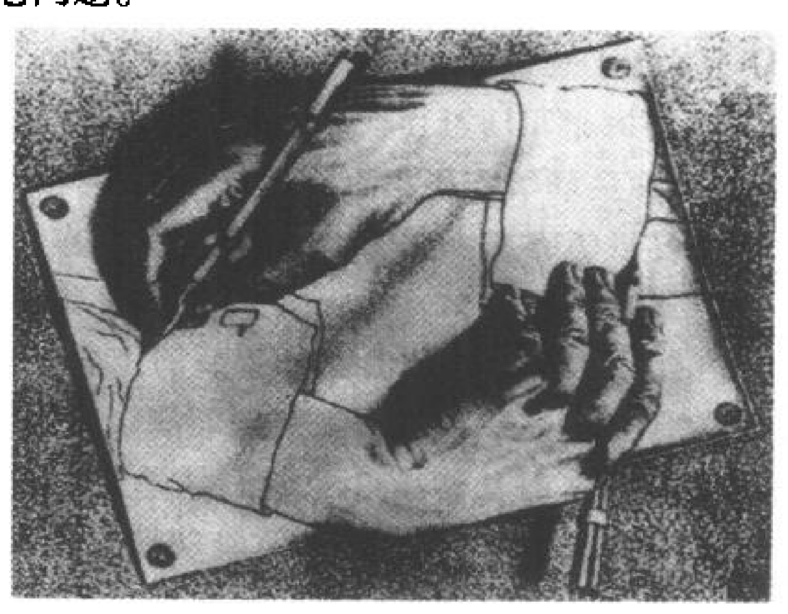


图 1·4 埃舍尔画的双手互绘图表示了自组织的问题:序参数(一只手)引起了其他部分(另一只手)的行为;反过来,序参数的行为又为其他部分所决定。



用协同学的语言来讲,序参数支配各个部分。序参数好似一个木偶戏的牵线人,他让木偶们跳起舞来,而木偶们反过来也对他起影响,制约着他。我们会发现,支配原理在协同学中起着核心作用。但必须指出,这里使用"支配"一词丝毫不含贬义;它无非是表达一个因果关系,而与"支配"的伦理学意义毫不相干。因此可以说,例如,一个民族的成员们为其语言所支配。

我从序参数和支配的角度,首先对物理学,而后是化学,最后是生物学的其他现象加以研究时,一再发现相同的例证。结构形成的过程似乎不可避免地朝某一方向前进,但并非循着热力学规律所预言的那种方向,甚至也并非循着无序性不断增长的方向。相反,本来无序的部分系统也被卷入现存的有序状态,而且其行为受它的支配。





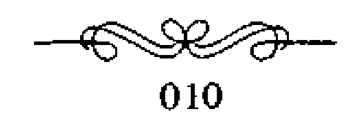
我们还会发现，上述从混沌创建有序的必然性，与所发生反应的物质本身无关。在这个意义上，激光的性态与云雾的形成或细胞的聚合如出一辙。显然我们面对着一个统一的现象。这将提示，这种规律性也会在非物质领域中碰到。

社会学中的属于此类的实例之一就是，整个群体的行为似乎突然倾向于一种新的观念——也许是一种风尚，或倾向于一种文化思潮，诸如一种新的画派或一种新的文学风格。

我们很快就懂得，这些自然规律是打开大自然构成奥秘之门的钥匙。例如，大自然怎么能在生命世界中演化出越来越复杂的物种？为什么有些物种能日益繁荣昌盛，而有些物种则受到排挤？另一方面，为什么尽管物种之间的竞争非常残酷无情，它们却可以共存，而且正是由于这种共存而能够彼此稳定呢？根据这一新的观点，一些过去被孤立看待的现象成为一种统一的自然规律的实例。前此的困惑，甚至是矛盾，涣然冰释。我们将发现，许多个体，无论是原子、分子、细胞，或是动物、人类，都是由其集体行为，一方面通过竞争，另一方面通过协作而间接地决定着自身的命运。但它们往往是被推动而不是自行推动的。

在这个意义上，我们可以把协同学看成是一门在普遍规律支配下的有序的、自组织的集体行为的科学。一门科学宣称自己具有极大的普遍适用性，必然会产生某些重要的后果。协同学包含多种多样的学科，如物理学、化学、生物学，以及社会学和经济学。因而我们期望，由协同学发现和阐述的规律，在各种学科中已或多或少隐约地体现出来。这样，协同学就从许许多多孤立的事实中构建出一幅崭新的图景，恰似图画拼板游戏那样。

其次一个后果也不能忽视。科学一贯告诫我们，不要轻率地把一些规律认为是普遍有效的。我们不得不一再承认，一些自然规律，其有效性虽已在一定领域中被认识并得到肯定，但在





更大的范围内就只是一种近似，甚或完全失去意义。因而牛顿力学只是爱因斯坦相对论力学的一种近似。而描述宏观物体运动的经典力学，在原子超微观世界中则须以量子力学代替之。在这个意义上，协同学在综合性上超过了热力学的规律，其应用范围广泛得多。另一方面，协同学也有其局限性。要说明这一点，必须对协同学的目标和迄今所取得的成就加以区分。协同学的目标是在千差万别的各科学领域中确定系统自组织赖以进行的自然规律。在人们最感兴趣的事例中，亦即在创建新的结构或系统的宏观状态发生急剧变化时，协同学在发现其普遍规律方面最为成功。但什么是宏观状态？什么是急剧变化？对这些术语与其作冗长的解释，倒不如用实例加以说明。在本书中我将列举大量事例，希望以此引导读者一方面逐步了解协同学中存在的问题，一方面也知道其成果。

所有生命过程，从单细胞的生命过程开始，直到人类与自然的共存，都是密切配合的；所有的部分都像齿轮那样，直接或间接地啮合着，这就使系统总是十分复杂。不断增长的人口和密度，以及日益进步的技术，正在增加我们环境的复杂性。因此，理解复杂系统性态的任务也在不断加重。正如本书将反复指出的那样，协同学在这里提出了一种崭新的洞见。一个复杂系统犹如一本厚书。为了透彻地了解全书，充分把握其内容，就必须把它从头读到尾。然而时间不够怎么办？可以用不同的办法来进行，例如，抽读其中重要章节，或者有人会为我们作一个简短的摘要，这种摘要可能是从极不相同的方面取材的。一个读者可能认为书中的爱情故事是最重要的特色，另一个读者则也许认为书中所描述的社会环境为重要。最后，一本书也可按一个或好几个概念来区分，例如“历史小说”、“专业书籍”和“侦探小说”，等等。其他诸如“无价值的书”或“畅销书”这些名目也是令

人感兴趣的。因为我们人类的大脑(甚至所有科学家的大脑加在一起)只能接受有限的信息量,所以对待复杂系统应像读一本过于冗长的书那样,要加以浓缩,搜集与我们的意图有关的信息。

即使能够收集到全部资料,那也只能使我们如堕五里雾中而无助于作出判断。"只见树木,不见森林。"——没有其他谚语更能说明复杂系统的问题了。我们不能困死在无关紧要的细节上,必须学会观察和把握事物总的场景,我们必须"减少复杂性"。

正如协同学所指出,"有意义的信息"、总的场景是由序参数提供的,每当系统的宏观行为改变时,序参数变得十分重要。一般说来,这些序参数是长期量,它们支配着短期量。很多事例将证实这一点。

如果在由混沌产生有序,或一种有序性逐渐转变为另一种新的有序性的场合中,这样的普遍规律起作用的话,那么,在这类过程中必然有着某种内在的自动机制。倘若在经济、社会或政治领域中我们也学会辨认这些规律性,生活中的困难就将较易对付。例如,我们会理解,别人对我们所持的反对态度并非出于阴谋,而是根据某种集体行为模式而采取的行动,甚至是不得已而为之。认识这些自动机制,甚至可以使之为我们服务。正如运用杠杆定律可用较小的力举起极大的重量,应用协同学的规律也可用较小的努力获得极大的效益。在这个意义上,我们可以利用"大自然构成的奥秘"为自己谋福利。

我们会一再看到,生命世界所以能够或必然发展到现在这般地步,只是因为它并不具有无穷无尽的应变能力。它只能在有限的时间内按照自己的生活经验来发展。但正是这些外部制约促进了自然界的发展,并使物种不断更新。技术和文明最发





达的，并非那些常年为溽暑困得丧失活力的国土，而是必须与冬天的刺骨严寒作斗争的地方，我并不认为这是一个巧合。

当我们步入协同学这一新的领域，显然就得从简单到复杂，逐步深入。因而，下文将从物理学和化学中的例子开始，然后论述经济学、社会学和科学学的问题。把从简单事例获得经验，用于较复杂的问题，这并不是什么新方法。例如，在社会学和经济学中，已经发展出取向于物理学模型，并广泛利用“熵”——对无序性的一种衡量——这个物理学概念的模型。

然而，随着物理学中获得的新知识，其他科学分支也正在提出新思想。以前认为一个特定社会的结构是静止的，处于平衡状态的，而现在的看法已完全改变。结构永远在形成、消失、竞争、协作或组成更大的结构。我们在思想观念上已达到一个转折点，即由静力学飞跃到动力学。

在我们探讨所有这些问题之前，必须首先研究物理学对结构形成所唱的基本反调：无序性不断增加的原理。





# 2

# 无序有增无已？世界的热寂

## 自然界的单行道

能让自然界的变化过程在精确规定的实验条件下任其自己进行，这是物理学的优点。当看到这些过程总是以同样的方式进行时，物理学就能制定普遍适用的自然规律。其中有些规律，就是在我们日常生活中也是显而易见的。如加热铁条的一端，过了一段时间后整段铁条的冷热会趋于均匀，最终铁条各处的温度完全一样(图2·1)。然而相反的过程，即铁条自发地一端变热而另一端转冷，则从未见到过。若把一个充满气体的容器与另一个空容器并列在一起，而抽掉两者之间的分隔物，那么气体就会咝咝地涌入空容器，直到均匀地布满两个容器为止(图2·2)。相反的过程，即在一个充满气体的容器中，气体分子突然聚集到容器的一半边，也从未见到过。

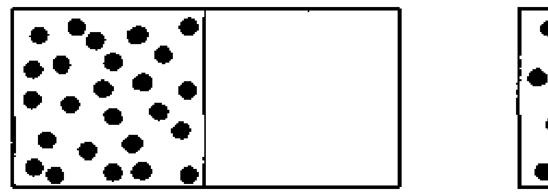
我们如在驾驶汽车时刹车，汽车会突然停下来，而制动器和可能还有轮胎都会发热。然而，加热制动器和轮胎却从未使一辆汽车开动起来过。

显然，所有这些自然变化过程都只朝一个方向进行，相反的变化过程是不允许的。这些过程也被称为不可逆过程，因为人们无法使之倒转过来。

上一世纪，卓越的奥地利物理学家路德维希·波尔兹曼(1844—1906年)，首次成功地对为什么自然变化过程只朝一定的方向进行作出了决定性的回答。这是因为变化过程总是朝着有增无已的无序方向进行。




图 2·1　铁条一端加热后，温度均匀分布，铁条就热起来。



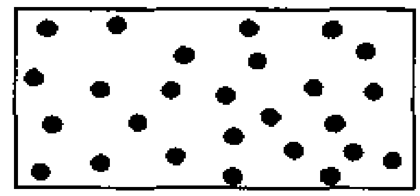


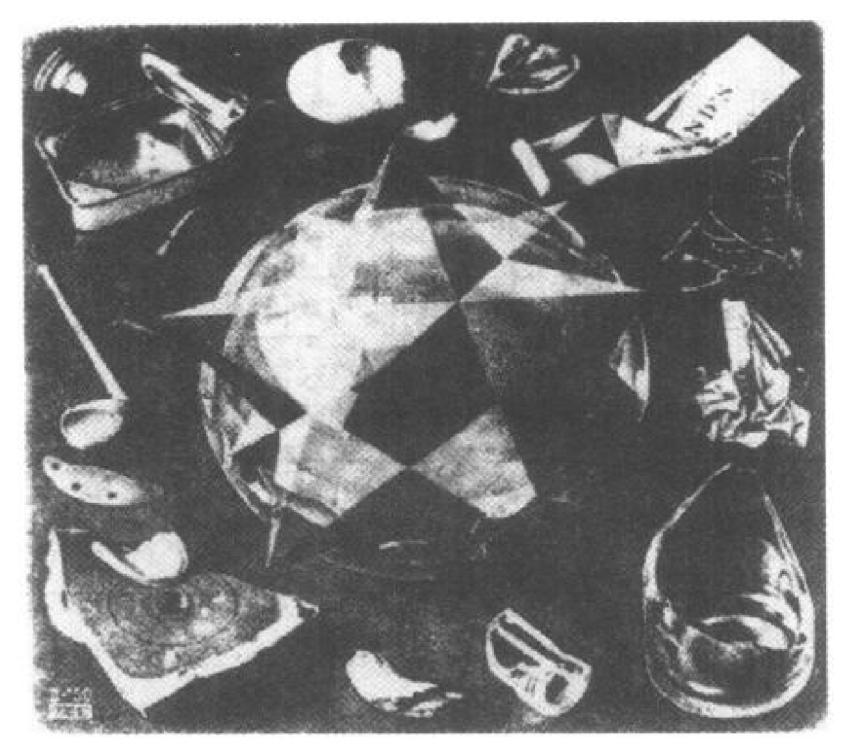
图 2·2　抽去左图两个容器间的分隔物，气体微粒均匀地充满两个容器。



## 什么是无序？

可怎样来给无序下定义呢？物理中无序的概念与日常生活中人们熟知的杂乱无章这个概念密切相关。比如一个孩子的房间为什么杂乱无章？那还不是因为没有收拾好，或者换句话说，因为各种东西(例如练习本和课本)没有摆在它们应有的位置上(图 2·3)。比如生物学课本没有放在书架上该放的地方，而是扔在桌子上、窗台上、椅子上、床上、地板上，或者任何别的地方。





图 2·3 美术家埃舍尔描述的有序和混沌。显然，在混沌中任何物件都不在其应有的位置上(如在垃圾箱中那样)。

书放在什么位置的可能性多得很。练习本、钢笔、橡皮的情况也一样。反之，若所有东西都各就各位，那么房间就收拾好了，就是有条不紊了，也就是呈有序状态。因此，有序状态仅有一种。同时很明显，无序是与物件所在之处有很多可能性相联系的。要在一个无序状态中寻找所需之物所以如此困难，原因就在于此。再讲一遍，物件所在位置有很多可能性，这就造成了无序状态。

大量不同的可能性也是物理学中无序的量度。这一点可以由气体这个极简单的例子看到。让我们来看一个仅由四个分子组成的气体模型。这四个分子依次编号为1—4，并分放在两个盒子中。

把四个分子放在一只指定的盒子中，这样可能性只有一种，





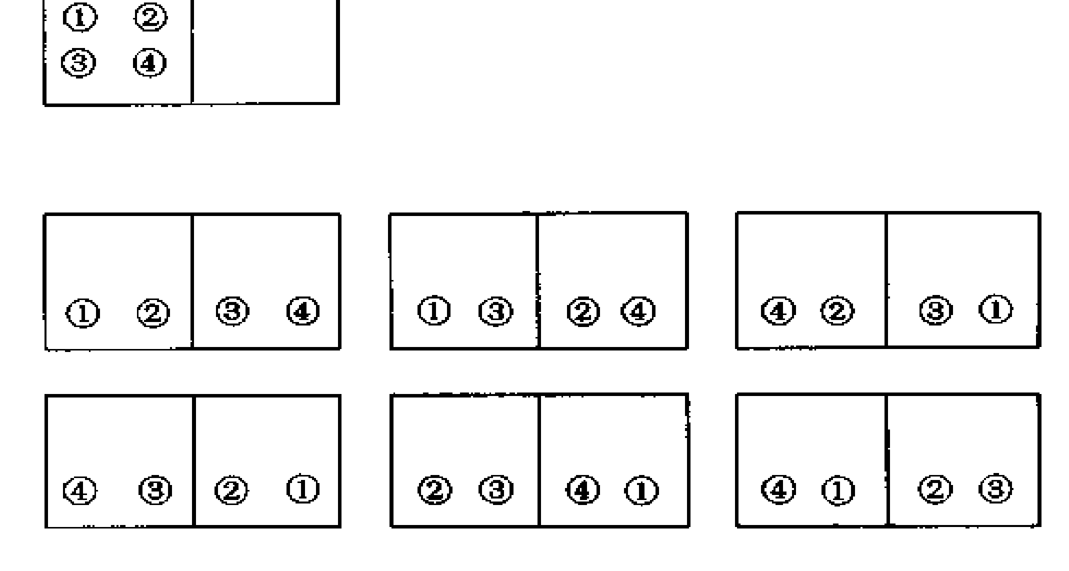



图 2·4 波尔兹曼计算最大熵的规则示意图。
上图：把四个球放在一个容器中，只有一种可能性。
下两图：把四个球均等地分配在两个容器中的六种可能性。

如图 2·4 左上图所示。而图 2·4 又表明，若把这些分子球两个两个地分放在两只盒子中，那么就有六种可能的放法。从宏观状态，也就是粗略地说，所有的分子不是放在一只盒子里，就是在两只盒子中各放一半。根据波尔兹曼原理，自然界力图实现可能性数目为最大的那些状态。物理学家应用的“熵”这一概念，根据波尔兹曼，是由可能性的数目（更精确地说，是通过这个数的对数）来决定的，自然界力图实现熵值为最大的状态。

在我们的这个四分子例子中，“均等分布”与“所有分子在一个盒子里”的可能性之比为 6:1。在自然界，例如一立方厘米中气体分子的数目已经大得惊人，因而分子均等地分布于两个盒子的各种可能性也简直无法估计。结果，自然界实现均等分布状态的机会也是非常之大。从这种情况的任何偏离，最多只是一次小小的涨落——例如一个微小密度涨落而已（图 2·5）。

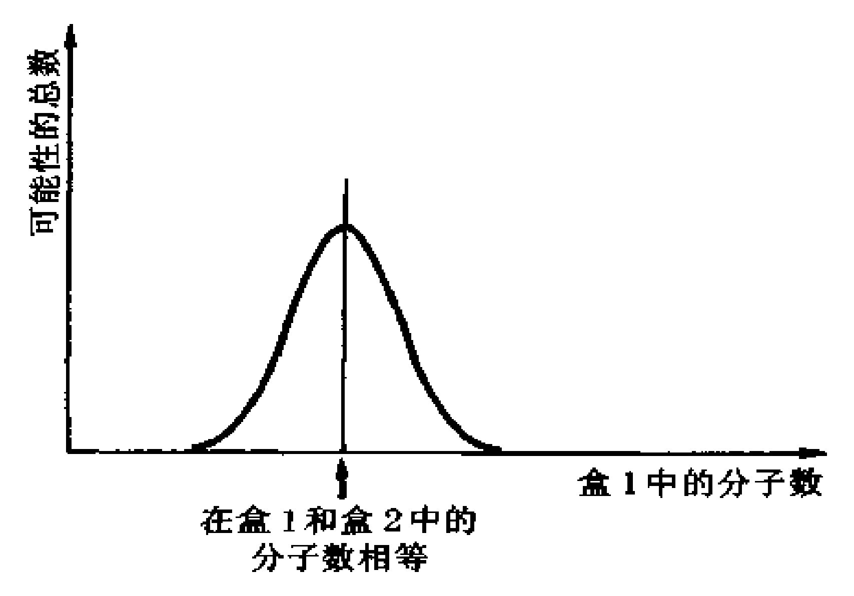



图2·5　一张所谓大量分子的分布曲线图。曲线的峰值表示气体分子在两个容器中均等分布的状态。如果分布不均等，那么各种不同的可能性的数目将急剧下降。

然而，只有当我们把运动过程考虑进去时，才能充分理解波尔兹曼原理，因为运动也与可实现的各种可能性有关。一位教授的书桌看上去常常凌乱不堪。但如果清洁女工把书桌上的“一团糟糕”“整理”过后，这位教授先生第二天一来，定会大为恼火，因为，正如他所说的，他再也找不到他所要找的东西了。为什么？究竟这只是他的脾气乖戾呢，还是他的抱怨确有道理？

对这一矛盾可作如下解释：虽然由不在行的人看来书桌很凌乱，但哪里去找某一本书或一页手稿，教授却了如指掌。所以尽管貌似混乱，但这里也只有一种他能从中找到所需之物的确定状态。但经过清洁女工整理后，她创建了一种新的状态，这位教授就再也不能找到在它们“正确”的位置上的东西了。前面我们讲过分子在几个盒子中的分布有着各种各样可能性，那么种种可能性的不断新实现也包括在无序的概念内。换句话说，当教授书桌上的东西不断被搬动时这张书桌就呈现无序状态。





自然界对待它的气体分子与此无异。因为这些分子(例如室温下的氧)的运动速度为每秒 460 米,它们不断被搅动——在两个盒子里不断实现分子的新分布。大自然就像个玩扑克牌的人,在我们面前极快地洗牌,而我们却看不清楚他动作的细节。分子不断占有新位置的运动本身是无序的——这就是热运动。

## 能量不断贬值

上述认识也可以用别的方法来说明,比如说以汽车为例。汽车行驶时,它的全部能量存在于前进的运动中,或者说存在于动能中。由于运动发生于汽车前进的某个方向,按照物理学家的说法,汽车具有一个单一**自由度**。当汽车刹车时,它的动能就转化为热能,制动器和轮胎就变热(图 2·6)。但是热意味着许多原子或分子的微观运动。如所周知,某物体比另一物体热的原因在于,前者的单个分子运动比较冷物体的分子运动得更为强烈。但是由于至少在微观范围内,分子可以在不同的方向上运动,而且分子本身的数量极多,现在热能就被分配到多个自由

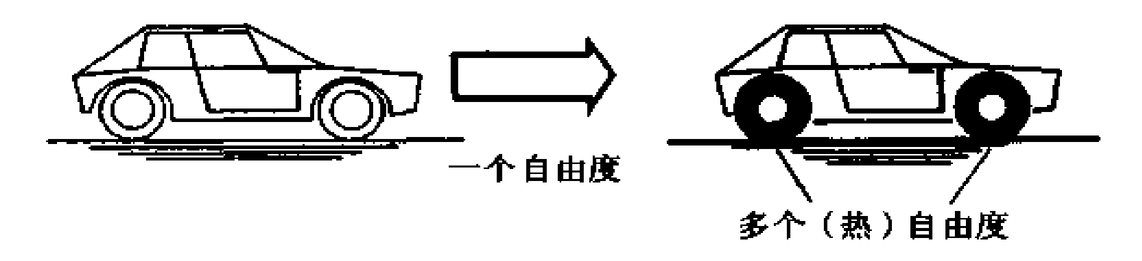



图 2·6　一辆行驶中的汽车(左)只有一个自由度。刹车时这一个自由度会转化为极多的热运动自由度,比如车轮和制动器的热运动。





度上。换句话说，汽车刹车时，一个自由度的能量被分配到很多自由度上，而安排这种分配的可能性也非常之多。与之相反的过程意味着，所有分子好像听到号令一样，突然间向同一方向飞去，从而很多个自由度将减少为一个自由度。然而按照热力学的基本定律，这是不可能的。我们虽然能够把一个自由度中蕴藏的能量，即汽车的动能，转化为热能，但却不能或者至少不能完全逆转这个过程。正如我们即将发现的那样，集中在一个自由度中的能量与在许多个自由度中分布的能量相比具有更大的价值。

自然界无序性增长的趋势可以加以一定的限制。例如在容器中插入一块隔板，就可以阻止分子作进一步的分布。从而我们必须经常想到，自然界并非必然要达到最大的无序状态，而可以从外界加以限制。借助于一些办法，人们可以在技术上成功地把一部分热能转化为可以利用的能量，例如在内燃机中使活塞运动。在汽油猛烈燃烧中产生的热运动部分转化到活塞运动这个自由度中，但大部分热能则损失掉并耗散在冷却器的水中。物理学表明，"回收"高价值能量原则上有一个限度，而且还需有人脑构想和人手制造的机器。在宇宙中，看来并不存在这种阻止无序性增长的限制。从而物理学家得出结论：世界竭力趋向于一个最为无序的状态，所有有序状态都将瓦解，生命将不再可能存在，世界趋于"热寂"。著名的赫尔曼·冯·亥姆霍茨(1821—1894年)解释说："从此以后宇宙被判处进入永恒静止的状态中。"同样著名的鲁道夫·克劳修斯(1822—1888年)则说："宇宙越接近于熵值最大的极限状态，出现进一步变化的机会就越小。"一旦到达这种状态，那么"宇宙就处于无变化的死寂状态中"。

考察宇宙的过去，那么瞻望未来也未必展示生命存在的机




会。几乎所有物理学家都认为,世界于大约 100 亿年以前是一个在一次"大爆炸"中形成的非常热的火球,其中并无有序性的支配,也就是说,世界之初是混沌和没有秩序的。而后无序性应当越来越增加,直至极大。那么是否还有有序的、有意义的结构,乃至生命本身的余地呢?





# 3

# 晶体——有序但无生命的结构

在上一章中我们指出，较高的温度导致分子较剧烈的热运动，并从而造成较大的无序。这提示，从一个系统中消除热能也许能建立一种有序状态。正如日常经验所表明的，在冷却过程中确实出现这种状态。当我们把水冷却到一定程度时水会变成冰，或更确切地说，会形成冰晶体(图 3·1)。

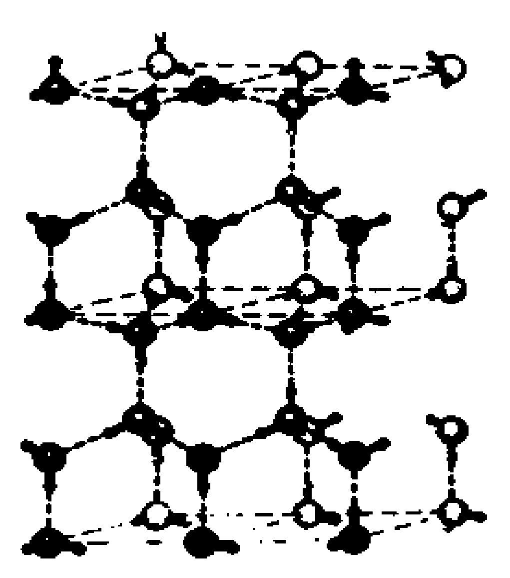
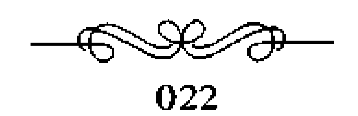


图 3·1 在冰晶体中，水分子周期性地排列在一个固定的点阵上。大球表示氧原子，球上突出的臂表示氢原子。





由于单个水分子极其微小，仅约1毫米的百万分之一，即使我们用倍数最大的显微镜也无法看到它们。但用伦琴射线或电子波充分精确地探测晶体，却能使物理学家画出晶体结构的详细图形。晶体中的各个分子排列成行，它是一种秩序井然而又坚硬的物质状态。在水中，水分子能相对位移，因而水能流动。把水加热到沸点，它就会气化。在水蒸气中，水分子像许多小网球似地四向纷飞，不断相互碰撞，并改变飞行方向，从而出现一种完全无序的状态（图3·2）。

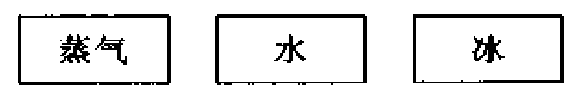



图3·2　水的不同聚集状态。

在物理学中，不同的聚集状态——固态、液态、气态，亦称为相，而不同相之间的转变，则被称为相变。因为相变显然形成截然不同的有序或无序，物理学家早就对这种转变感到浓厚的兴趣。他们对此至今仍在研究。那么相变的特点是什么呢？

水的例子清楚地说明，不同的相——水蒸气、水和冰晶体——所含的分子完全一样。在微观上，不同的相之间的区别只在于分子间的相对位置不同。在水蒸气中，这些分子四向纷飞，速度很快（每秒约620米）。这时除了分子的相撞外，分子之间几乎并无力的作用。在液相中，原子相离很近，并受到吸引力的作用。但分子还能够相互移动。然而，在晶体中，各分子则排列在一个严格的周期性的“点阵”中（图3·3）。

与这些不同的微观有序状态相联系的是完全不同的宏观性质。特别引人注目的是机械性质的差别。例如一种气体（或水蒸气）很容易压缩，不像水那样几乎不能压缩，而冰则是一种固体。其他例如透光性这样的宏观物理性质也发生变化。这些例子说明，微观变化怎样能产生物质（不仅是水）的全新的宏观性质。

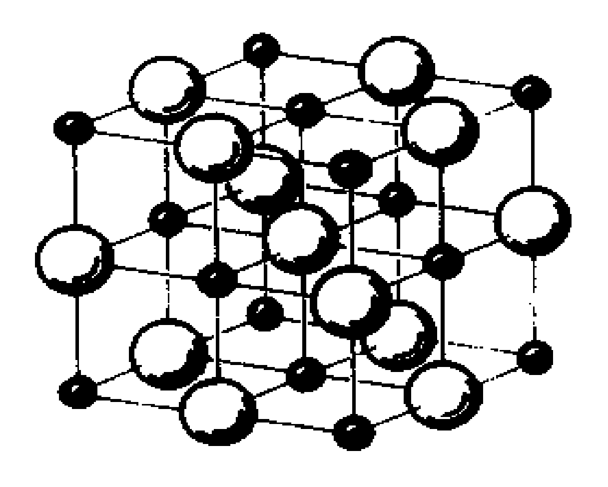


图 3·3 食盐(NaCl)晶体中原子的配置。大球表示氯离子,小球表示钠离子。

相变的另一个性质也应该提一提。在其他条件,如压力,不变的情况下,相变发生在一个精确规定的温度下,这个温度称为临界温度,例如水在 100℃沸腾并在 0℃结冰(摄氏温度计就是根据 0—100 设计的)。其他物质在完全不同的温度下熔化,例如铁在 2081℃熔化,金在 1611℃熔化①,它们分别在更高的温度下气化。

## 超导性和磁性:微观有序性产生宏观的力量

这种类型的相变并不一定发生在不同的聚集状态之间。一个晶体自身也能有进一步突变的性质。在技术应用上,超导性是一种饶有兴趣的现象。为了理解这种性质的特异之处,我们想一想电流在导体,如输电线或收音机中的情况。金属传输电流时,电流是由最小的带电粒子,即电子传递的。大多数金属构成晶体点阵,在其中电子如同气体分子那样运动,但与点阵的各

① 原文如此。——译者




个原子相碰撞，从而失去能量（图 3·4）。换句话说，它们与晶格点阵相摩擦，并放出一部分能量，这些能量转化为点阵原子的无序的、非正规的热运动。这样电子流的能量就不断地损失并转化为热能。电熨斗所欢迎的正是这样的效应，但例如在输电线中它却不然了。在后一种情况下，用户们希望接收到发电厂生产的全部电能，而不能加热输电线。然而遗憾的是，由于上述被称为电阻的摩擦过程，大量能量损失了。早在 1911 年，荷兰物理学家卡默林·昂纳斯就已发现，某种金属，比如水银，当冷却到低于某个很低的温度时，会完全失去它的电阻（图 3·5）。他称这种现象为**超导性**。在这个现象中真正使人大惑不解的是某种全新的东西出现了。电阻不仅是变得非常小，而是明显地完全消失了。这已为实验所证实：把导线弯成一个封闭的回路，电流在回路中流动了一年多而毫无倦容。倒是物理学家不耐烦起来了，这才是导线加热而结束了这个试验。对这一现象，40 多年以后才在理论上得到了解释。我们现在知道，超导过程的基础也是一种非常特殊的微观有序状态，其中金属中的电子总是成对地穿越晶体。这些成对的电子自身又处于一种严格有序的运动之中，从而能抵抗晶体原子的阻挡作用。这

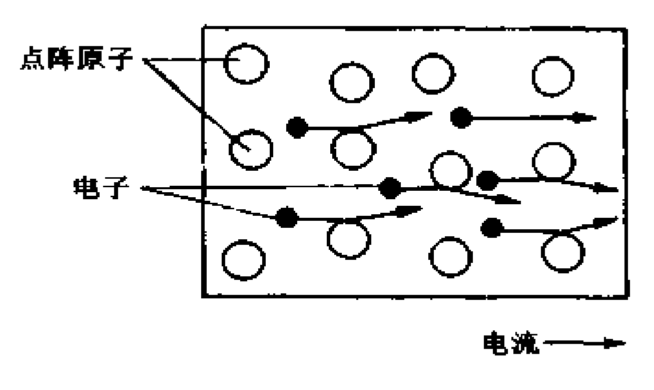



图 3·4 一个金属点阵的微观面貌。晶体的原子用大圆圈表示。由于热运动，原子不断振动。电子用小黑点表示与这些振动的原子相碰撞，被逐出它们的轨道，并减速。在此过程中，电子把它的部分能量给予金属原子，从而金属就热起来，同时电子流减弱。



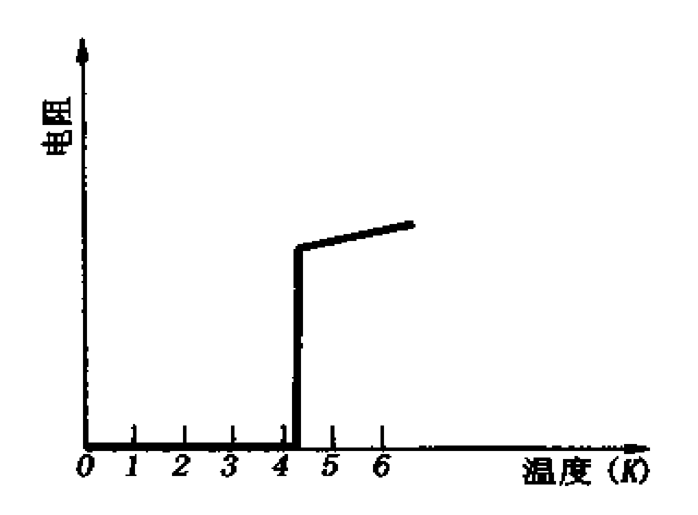
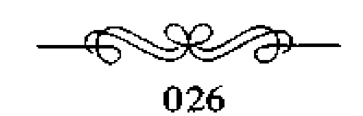




图 3·5 图中横坐标为温度,纵坐标为电阻。低于"临界"温度(这里是4.2°K〔绝对温度〕)时,电阻完全消失,在临界温度以上电阻为一个有限值。

就好像一个行进中的纵队手拉着手通过灌木丛,灌木丛不再能改变行进者的方向。这里也和其他相变一样,一种新的微观有序("成对行进")联系着一种全新的宏观状态(无电阻的电流)。

为什么我们现在没有把超导体用于输电线呢?困难在于,超导性只有在很低的温度下(例如 -260℃)才出现①,而冷却导线的费用是十分昂贵的。然而还有其他很重要的值得应用冷却的地方。我们知道,电流可以产生磁场。超导性可以建立极强的磁场,例如现今用于通过核聚变在地球上产生太阳能的装置。用极少量超导体可以制造计算机的开关元件——下一代计算机将只能在接近绝对零度的低温下工作。物理性质发生剧烈突变的另一例子是磁铁。铁晶体在室温下具有磁性,但当加热到一定的温度,即 774℃时,磁性突然消失(图 3·6)。这里,在微观层次上去追查其解释也是很有兴味的。物理学家把磁铁一再分割后发现,它是由越来越小的磁铁所构成,其中最小的是铁原子(更确切地说是铁原子的电子)。这些"基本磁体"相互间有着力

① 近年来,这方面有所突破,已找到 -80℃乃至更高温度下呈现超导性的物质。——译者





的作用。尽管相同的磁极通常相斥,基本磁体却具有相反的性质,即同极相吸。换言之,并以物理学上更正确的语言来表达,基本磁体都愿意排列在相同的方向上(图3·7)。只有根据海森堡所创建的量子理论,才能对此奇异的性态作出解释。但如果详细讨论则将使我们大大偏离本题。所有微观磁场合并在一起产生了我们从磁铁所知道的那种宏观磁场。

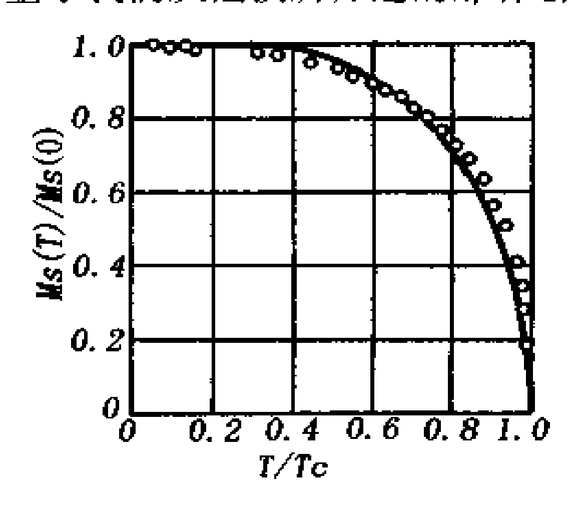



图3·6 横坐标仍表示温度;纵坐标表示磁铁的磁化程度。当高于某一温度T=Tc时,磁化消失,即磁铁突然变为非磁体。

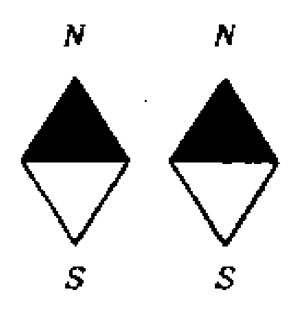



图3·7 磁铁内的微观基本磁体力图平行排列,并且总是北极靠北极,南极靠南极。



## 相变:从无序到有序或者从有序到无序

当磁铁处于无序状态时,基本磁体可以指向任何方向。这时如我们所说,是一种对称状态,没有哪一个较优先的方向。但

若总的状态是磁性的，那么所有基本磁体都指向某个方向。虽然在相变前所有方向都是等价的，但相变后却选出一个严密规定的方向。原来的方向对称性被“打破”了(图 3·8)。

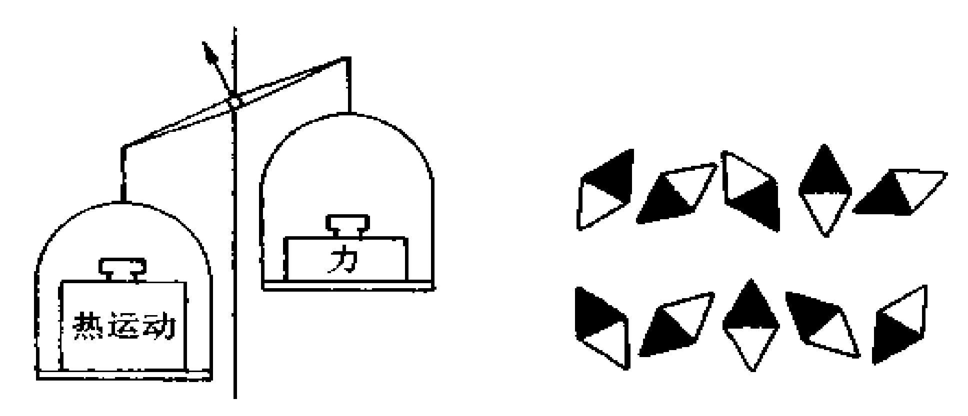



图 3·8　天平表示热运动与趋向把基本磁体平行排列的力之间的竞争。如果热运动较强，则基本磁体指向各个不同的方向。

磁铁的例子非常清楚地说明了在微观范围内相变是怎样进行的。在有序的磁相中，所有基本磁体排列整齐，而在无序相中，它们各自指向不同方向。产生这两个根本不同的相的原因，在于两种根本不同的物理力之间的竞争。一种力促使基本磁体平行排列。另一种力则以热运动为基础。事实上，热就是无序的、随机的运动。因而，热运动力图使基本磁体取向不同。我们可以用一架天平来比较这种情况。一个砝码表示热运动，另一个砝码表示促使平行排列的力。如果热运动较大，那么它就成主导力量，即天平向一边倾斜，也就是说在磁铁中无序运动占主导地位(图 3·9)。各个小磁体对外的作用相互抵消，我们观察不到宏观的磁化。但若把铁条中的热能去掉，也就是如果让天平的这一边越来越轻，那么基本磁体间的力将占主导地位。天平将突然向另一边倾斜，而所有基本磁体都排列整齐(图 3·10)。

以后我们将在协同学的框架内观察到这些过程——不仅是

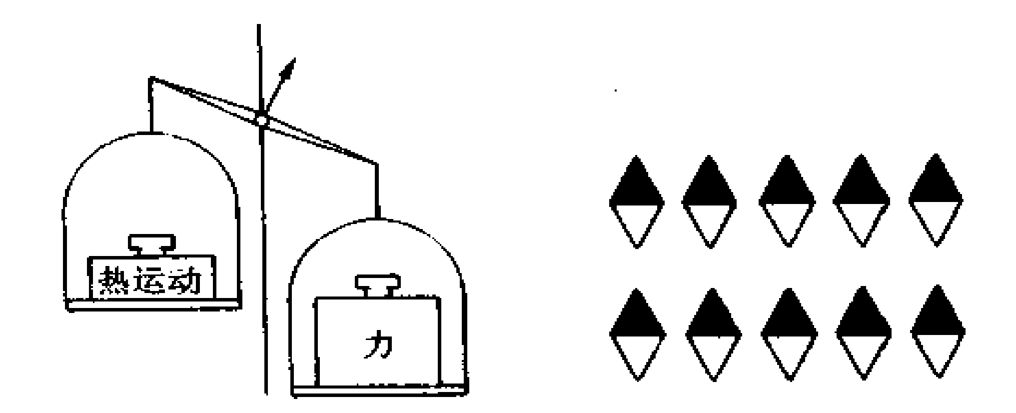



图 3·9　与图 3·8 相同，只是热运动较弱。平行排列的力占优势，从而使所有基本磁体相互平行排列。

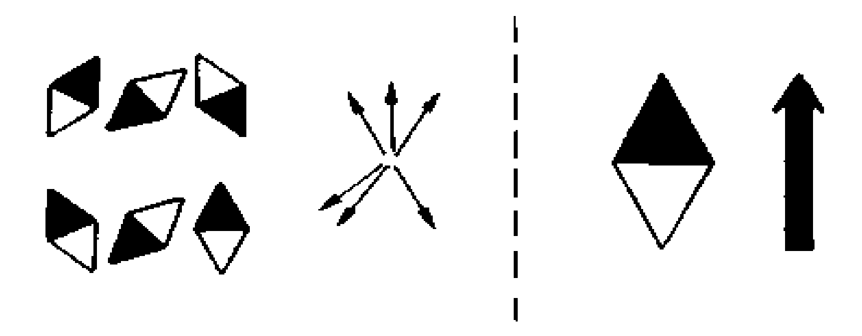


图 3·10　图 3·8 和图 3·9 的对照图。
左图：如果基本磁体指向不同的方向，则它们的对外磁效应被抵消，即磁化程度等于零。
右图：如果所有基本磁体都指向同一个方向，则它们对外的磁效应增强，出现强磁化，即磁铁呈现磁性。



物理的，也包括社会学和心理学中的过程，我们将发现有几个可能已在相变过程中认识到的概念是重要的。

当液体沸腾时，我们可以用肉眼观察到许多相变过程都具有一种重要性质。例如水在沸点之下是透明的，在沸点之上，水的蒸气相也是透明的。但若缓缓地把水加热，使它接近沸点时，水就呈现混浊和乳白。这是因为透过水的光线被水分子的运动强烈地散射，当水接近相变点时，分子的运动特别强烈。这时出

现了临界振荡，或者如物理学家所称的“临界涨落”。我们可以把它与在公共场所举行的集会散会时的情况相比。人们突然分散，结果出现一场强烈的运动。人群有时较密，有时较疏，最后各奔归途(图3·11)。正如我们已经指出的那样，相变在今天也仍然是物理学集中研究的课题。令人奇异的是，最近几年里发现，尽管所涉及的物质和现象的性质各异，但它们的相变过程却都遵循相同的规律，而且总是不断地出现相同的基本现象，诸如临界涨落和对称的打破一再出现。也是在最近几年内，物理学家们成功地建立了统一的规律。在相变中突然出现的有序性，显然会诱使我们把这些现象直接应用到生命过程中去，因为这里在某种意义上我们所面临的也是有序的系统。在我们讨论过的例子中，物质仅随着温度的下降呈现有序状态。然而生命过程却随着温度的降低而缓慢下来，事实上，生命过程在很低的温度下完全停止，而许多生物则甚至终于死亡。

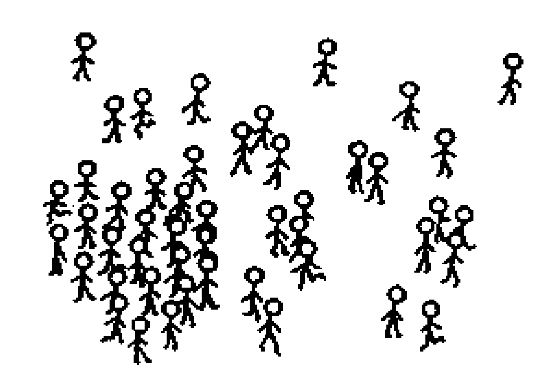


图3·11　会议散了，参加者的分布密度出现了很大的涨落。

生物通过不断地摄取和加工能量与物质来维持其生命。较高级的生物——恒温动物，根本不与其周围环境处于热平衡状态，而是恰恰相反。我们的体温是37℃，而正常室温约为20℃。显然，生命过程必须以完全不同的原理作为其基础。那些原理与晶体形成或铁磁性形成中的超导性反应毫无关系。从表面上看，物理学对生命的解释似乎毫无用处。但我们不要过早下结论，还是先研读下面各章。

# 4

# 流体模式、云图和地质构造

大家都知道，力学中有各种平衡类型(图 4·1—4·3)。如果我们设想在一只平放的碗中有一只球，那么这只球将处于最低处而保持平衡。如把球稍微推动一下，它又会回到原来的平衡位置，球的这种平衡称为稳定平衡。相反，如把球放在水平的桌面上，然后加以推动，那么它将处于新的位置上，这就是所谓随遇平衡。如果设法把球放在一只倒扣的碗的顶上，那么球又处于平衡状态。但如果把球稍微推离碗顶，它就会越来越离开碗顶，这就是一种不稳定平衡。我们需要运用这些简单的概念来更好地理解流体运动中的某些有趣现象。对这些现象，我们都很熟悉，但很少注意。例如我们有时会眺望天空中的云街——严格有序飘浮着的云的行列(图 4·4)。滑翔机驾驶员们知道，这些行列并非静止的，而是运动着的气团，它沿着一条云街上升，而沿着另一条云街下降。这样，

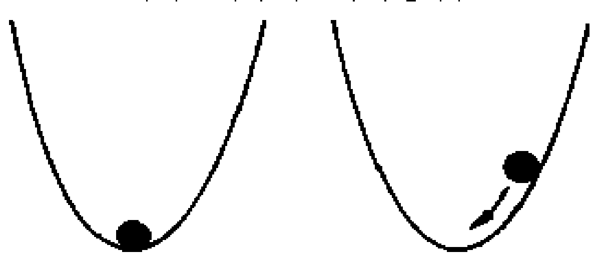


图 4·1　平放的碗中的球处于稳定平衡。

空气就滚卷起来。在实验室里可以不用空气而用液体在小得多的规模上产生这类运动。从底部加热容器中的一个液层，就会出现这种现象(图 4·5)：若顶部和底部之间的温差很小，那么液体不会产生宏观运动。当然流体会试图通过热量对流来缩小温差，但我们知道，热是一种看不见的微观运动。



图 4·2　水平面上的球处于随遇平衡。

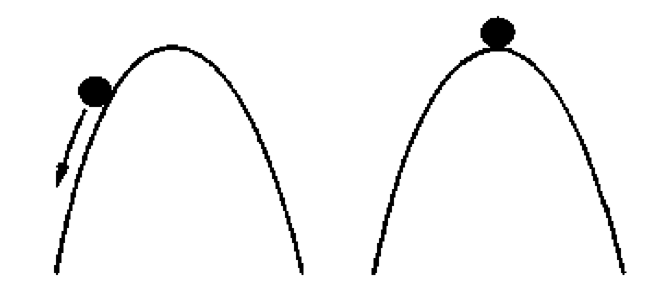


图 4·3　倒扣的碗上的球处于不稳定平衡。

进一步增加温差会出现一种完全出乎意料的现象。液体开始作宏观的运动，并且毫不混乱，而是呈现一种极有规律的滚卷运动(图 4·6)。液体以

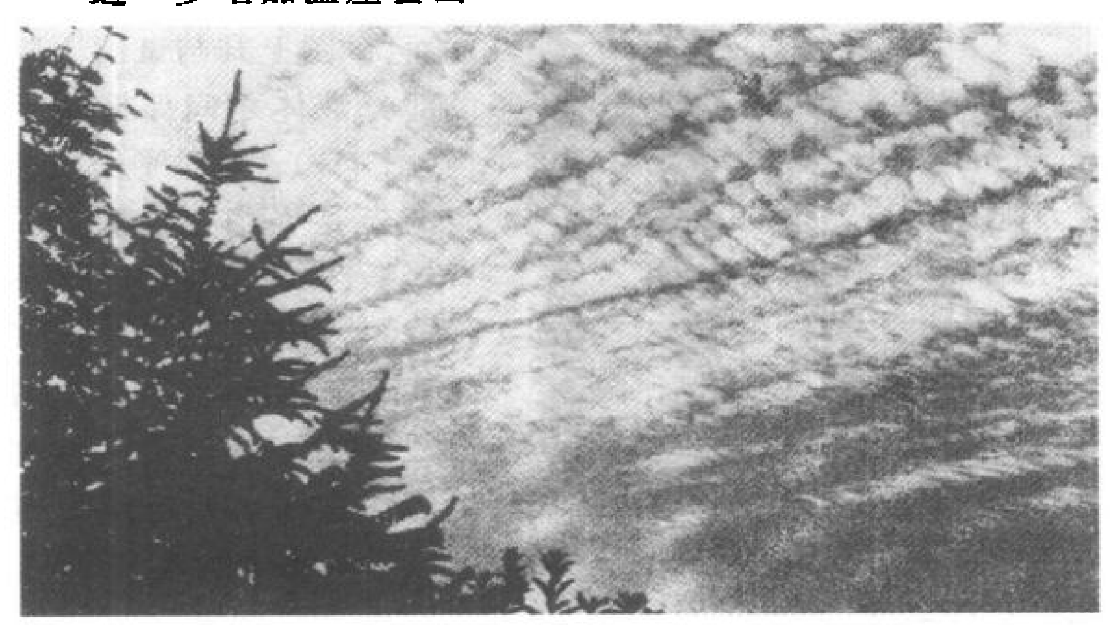
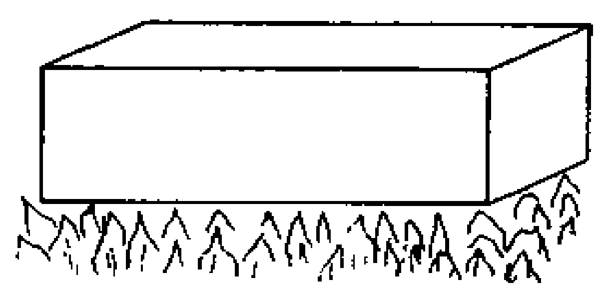
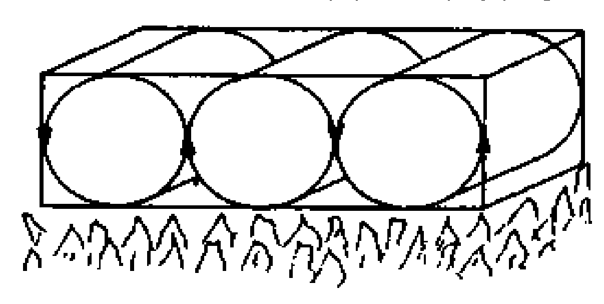
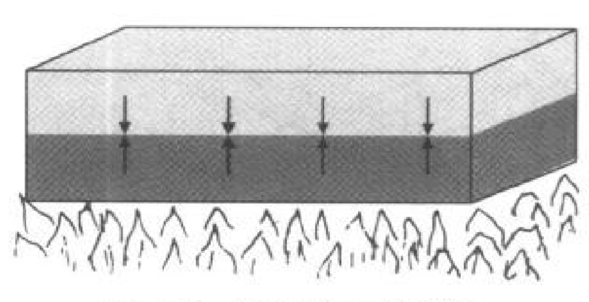
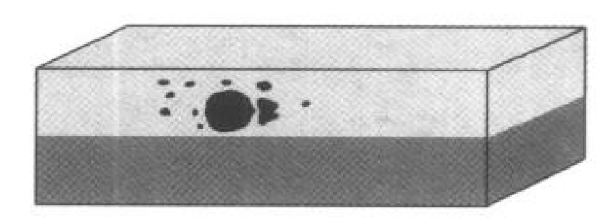


图 4·4　云街。


图 4·5　从底部加热的一个液层。


图 4·6　液体的滚卷运动。


图 4·7　还是静止的液体。


图 4·8　上升的液球。

纵条的形式上升,表面被冷却,然后下降底部。形成这种滚卷的惊人之处是,液体分子似乎必须在对它们而言是相当大的距离内配合默契,才能产生一个集体运动。液体滚卷要比其单个分子大上好几十亿倍。首先让我们观察一个静止的液层,若从底部把它加热,那么较低部分自然会膨胀而试图上升。那较冷、从而是较重的液体从上向下压。然而,试图上升与试图下降的部分液体之间保持着平衡(图 4·7)。这种平衡是稳定的还是不稳定的呢?乍看起来,这种情况似乎是不稳定的,因为上层的液体试图下降,而底部的液体试图上升,从而只需轻轻一推就可以使液体运动起来。但我们很快就会发现,情况要稍微复杂一点。

设想一个加热的小液球向上升(图 4·8)。当它与较冷的液层接触时,将释放出热量。它将冷却、收缩,并失去上升的趋势。此外,它的运动还会由于周围物质的摩擦而受到阻碍。液球由





于一方面冷却，另一方面受摩擦而停止上升，因而液层最后归于静止。但这种情况只保持在温差不太大时。如果把液体充分加热，那么热液球将上升而引起宏观运动。奇怪的是，那种热液球并非无规则地，而是均匀有序地上升。似乎有一种外部力量在起作用。我们不难通过一个类比来理解它。

设想一个游泳池，池中游泳者从池的一端游向另一端。夏日炎炎，游泳池中人满为患，如果游泳者这样游泳，则将相互妨碍(图4·9)。因而某一游泳救生员建议，让游泳者作环游(图4·10)，这样，相互间的妨碍会大大减少。这里，游泳救生员引导游泳者们所进行的是一种集体运动。但即使没有游泳救生员的指导，游泳者们也会想到环游这个主意。开始时也许只有几个人，但当他们觉得这样游法对他们很便利时，越来越多的人将会参加进来。于是最终在没有任何外来指导的情况下出现了一种集体运动，也就是一种**自组织**的运动。大自然对液体亦以同样方式行事。它发现，如果液体作规则的运动，则比起单独输送，能输送更多的被加热部分。然而液体怎样做到这一点呢？通过涨落。液体不断地试探各种可能的运动方式，它一再输送出少量的热液体，而使较冷的液体相应下降。我们可以设想把各种不同的可能发生的运动方式分解成非常简单的运动，也就是可以把液体的任何剧烈运动分解成似乎一致的运动方式。图4·11

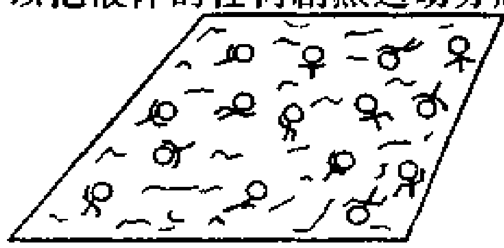


图4·9　池中的游泳者作无序运动。

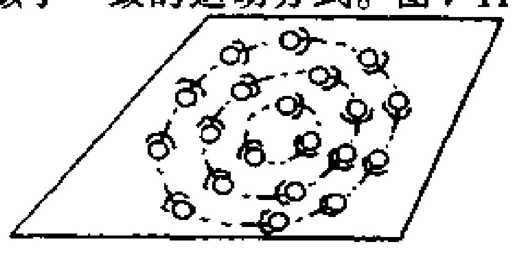


图4·10　池中的游泳者作环形有序运动。

和图 4·12 描绘了两种运动方式。液体发现一种方式特别有利于热的部分上升。于是这种运动方式越来越增多，越来越多的液体卷入这种运动，也就是为这种方式所“支配”。另一种运动方式则经过一段时间后渐趋减弱，它只是一种涨落。我们在此遇到了不同的集体运动类型之间的竞争：一种运动方式越来越占主导地位而同时压制了所有其他方式。这种滚卷运动起着序参数的作用，它指挥液体各部分的运动。只要在液体的一部分区域中建立起这种运动方式，液体的其他部分也将卷入这种方式的运动，或者换句话说，它们将为序参数所支配。有趣的是还可以精确地算出，最终哪一种集体运动将占主导地位和哪种运

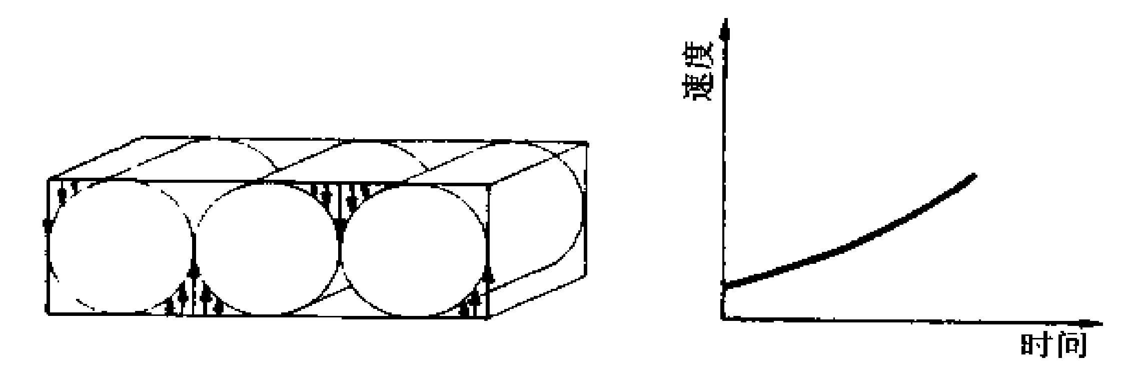



图 4·11　左：运动滚卷的可能排列。右：随着时间（水平轴）的推移，滚卷速度（垂直轴）不断增加。

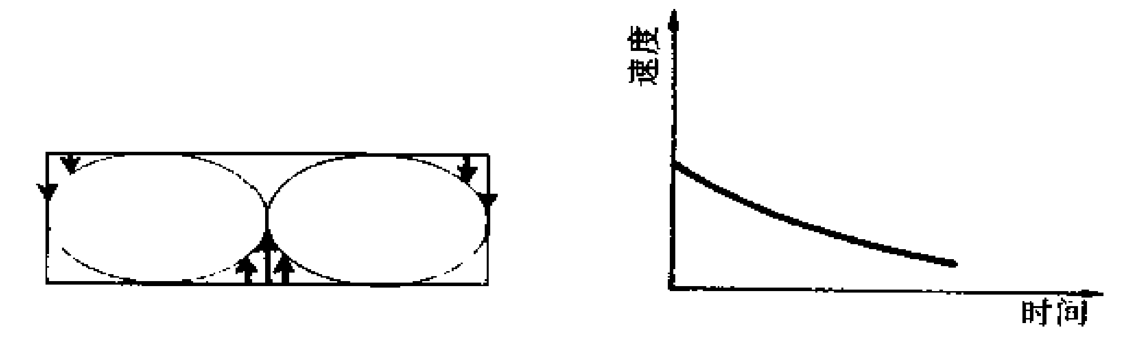



图 4·12　另一种滚卷形态，其旋转速度随着时间的推移而减慢。

动将受其支配。然而这必须谨慎对待。如果我们观察单个滚卷,比如位于中间的那个,显然它既可以顺时针转,也可以是逆时针转(图 4·13、图 4·14)。究竟出现哪种运动完全是偶然性的。顺时针或逆时针运动的对称性将被偶然的初始涨落所破坏。一旦液体的初始静止状态不稳定了,那么只需要一个小小的涨落就足以使滚卷运动出现,并确定宏观运动。我们不久将在社会科学中发现,在政治或经济决策中,常常只是一个小小的涨落,比如一个意外,就将最终决定事件的主要发展方向。这种选择一旦作出,另一种选择就被排除,而且决定是无法逆转的。小小的涨落常常决定所作选择的性质。如果作出选择,那么所有的部分不管是否愿意,都必须接受这种选择。

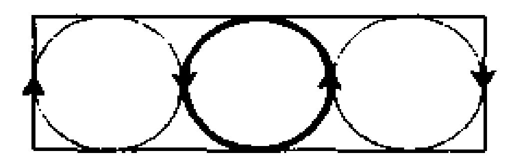


图 4·13　对称被打破。在这种情况下,中间的滚卷逆时针旋转。

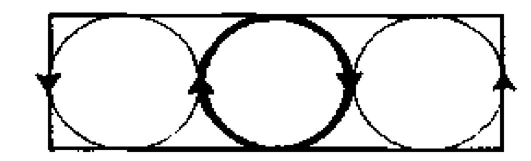
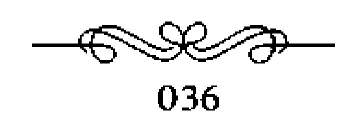


图 4·14　如同图 4·13,但中间的滚卷顺时针旋转。相应地,其余滚卷的旋转方向被逆转。

本章开始时,我们用一个简单的力学模型,即一个球和一只碗,说明了各种平衡类型。这也可以用来帮助理解滚卷的稳定化过程。如图 4·15 所示,右边是最大垂直速度;从而我们用球的位移来表示速度的大小。如果液体处于稳定的静止状态,那么这个速度的所有涨落都必将减弱到零。如果我们不断从底部把液体加热,静止状态就将不稳定。一个小小的涨落就将增加垂直速度。新的不稳定平衡状态可以用图 4·16 来说明,如同本章开始时所讲。但由于滚卷最终稳定,速度不可能再增加,它已达到一个稳定的最终值,球又回到碗底。把这些图放在一起,即





为图 4·17。球顺时针运动和逆时针运动的机会相等，所以我们的图必然是对称的，亦即图 4·18 对以球的位置来表示的速度是适用的。这样我们可以清楚地看到上面已描述过的对称被打破，但用另一种方式表示出来。球的位置表示滚卷的速度，而球原则上可以有两个等价的位置，但当然必须选定其中的一个，这

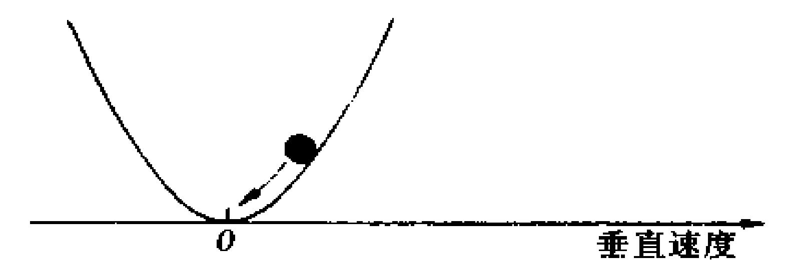



图 4·15　表示把液体底部轻微加热时的平衡状态。向右记入液体的垂直速度。球的位置表示垂直速度，在一次扰动时回复到它的静止地位。

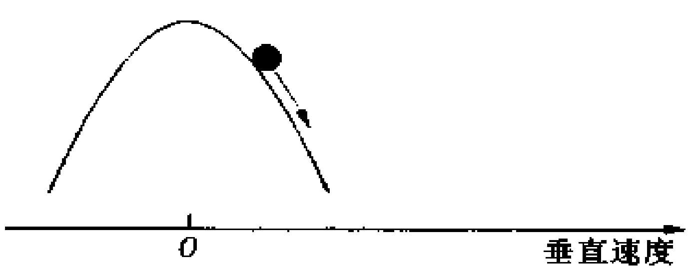



图 4·16　液体上下表面之间的温差大到一定程度时，滚卷的垂直速度增加。在我们的力学比拟中，这意味着球的位置不稳定。

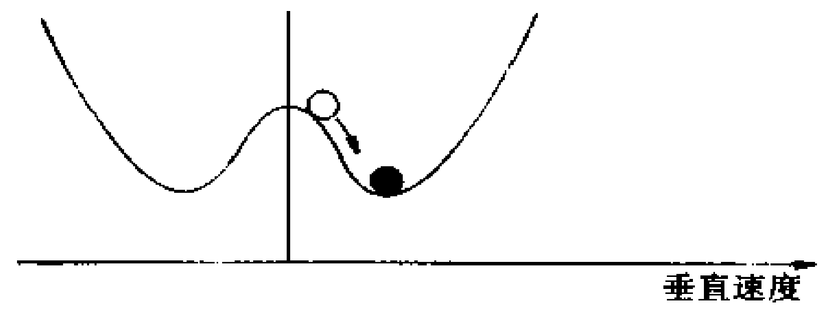



图 4·17　由于垂直速度并非无限增加，而是最终成为零，球最终必然由图 4·16 中的不稳定位置转入本图所示的稳定位置。

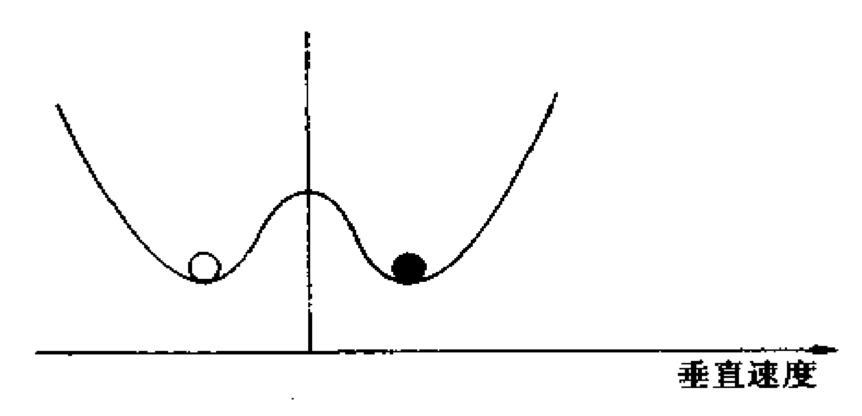



图 4·18　对称被打破。球可以取两个等价位置之一。这意味着，滚卷既可以顺时针也可以逆时针旋转。

样一来就打破了对称性。

滚卷运动并非是从底部加热的液体的唯一可能的宏观运动。如果把液体盛放于圆形容器中，滚卷的轴向是完全无规则的。这里不仅可能有各种不同滚卷之间的竞争，并从中最终出现一个单一的滚卷方向，而且不同方向的滚卷可以相互稳定。图 4·19 是一个最为人们所熟知的例子，其中各滚卷相互支持，相互稳定，结果犹如三根相互支持的杆子，直立不倒(图 4·20)。如果再把各滚卷的单独运动叠加在一起(稍为费一点事)，我们就得到一个蜂窝，也就是一个六角形模式。液体在这种六角形的中央上升，并沿边缘下降。例如，加热一个圆罐中的滑雪板用蜡时就会产生这种模式。

这个例子已经表明，流体这个概念有着很广的外延。甚至岩浆在凝固时也形成六角的岩块。在湖底部被地热加热的盐湖里，会结出多少呈现正规六角形的盐片来。如果在其上生长着紫色的细菌，那就可以得到图 4·21 所示的形状。有人假设，天文学家在太阳表面观察到称为米粒组织的结构，就是由上述现象产生的(图 4·22)。

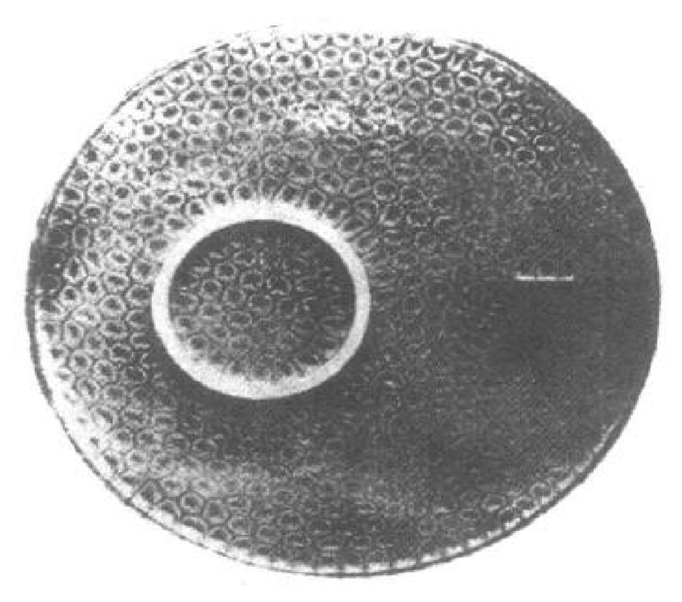


图 4·19　液体运动的蜂窝状模式。液体在每个蜂窝的中央上升,在边缘下降。

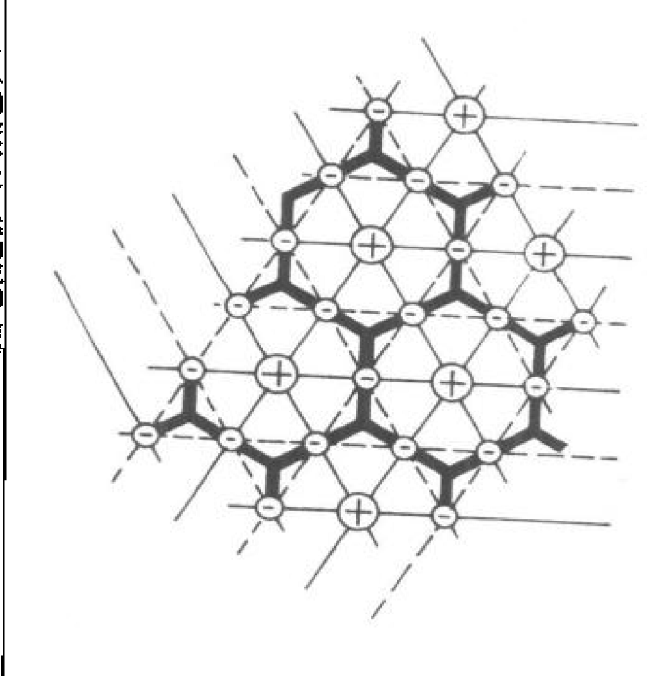


图 4·20　本图表明,由于不同取向的滚卷的叠加而导致图 4·19 的六角形蜂窝状模式的形成。在用正号标记的圆圈中液体上升,而在用负号标记的圆圈中液体下降。实线和虚线给出滚卷的边界。液体沿实线上升,沿虚线下降。粗线表示开初时的六角形,液体在此作向下运动。





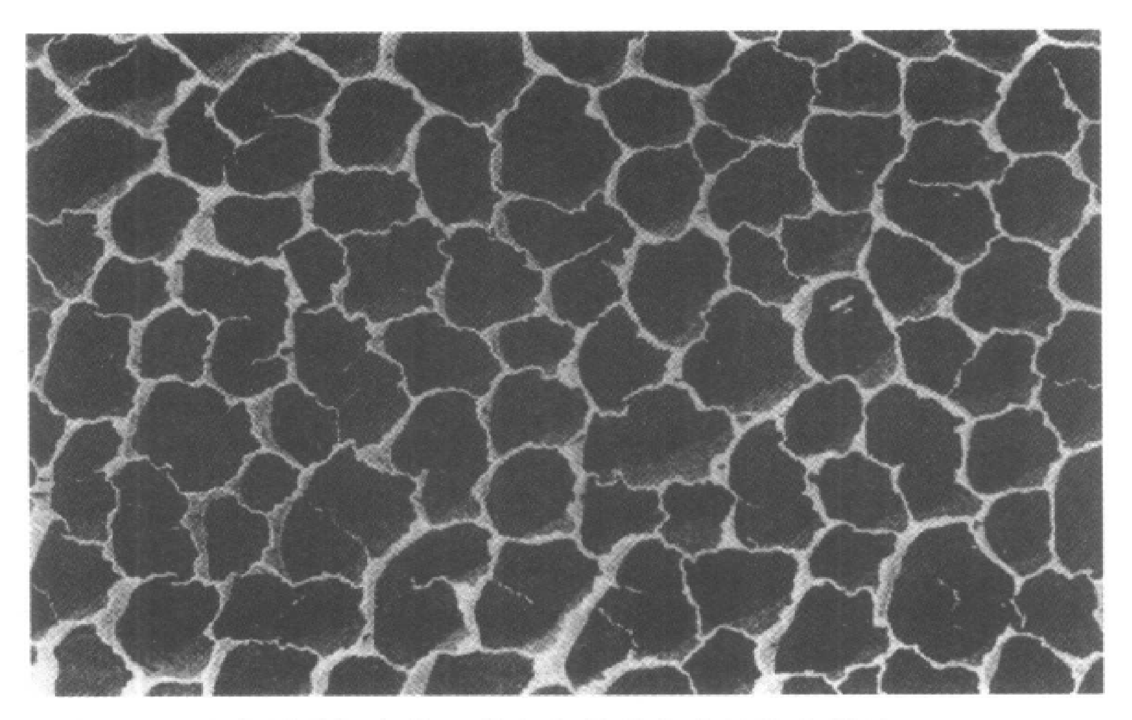


图 4·21　六角形盐沉积物。紫色细菌使东非纳特龙湖的干裂湖底添上颜色。

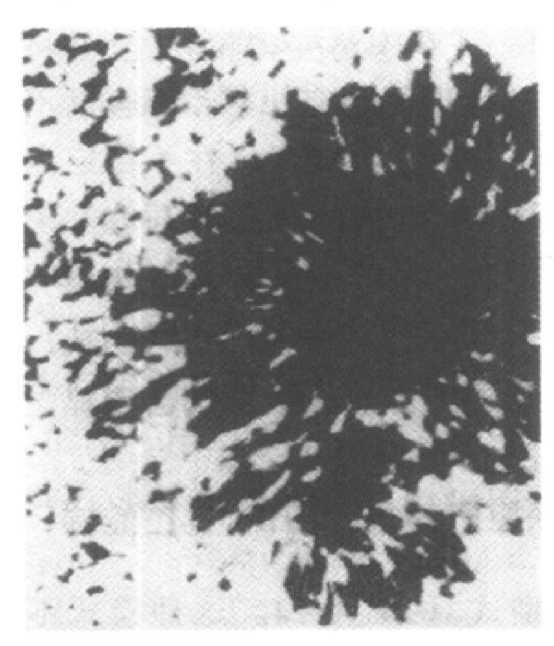


图 4·22　太阳表面的米粒组织。

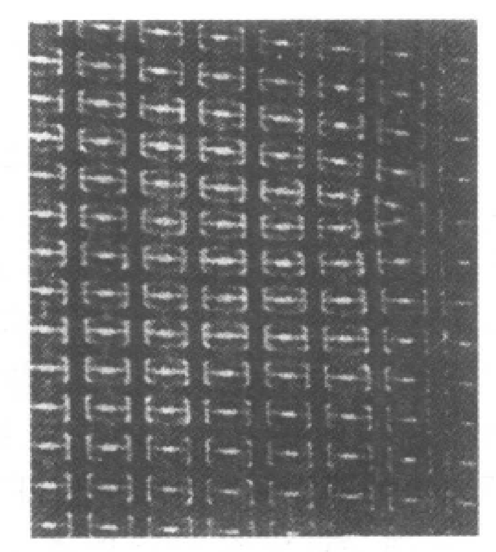
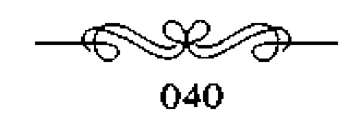


图 4·23　底部加热而形成两个相互垂直的滚卷运动的液层俯视图。





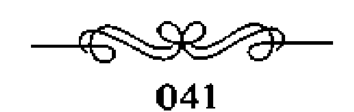
如果对一种已形成蜂窝状模式的液体从底下较强地加热，这一模式可以被简单的滚卷所取代，亦即这一情况可以用图 4·6 而不是用图 4·19 来说明。有关的数学分析有可能对此作出既有趣又发人深省的解释，但我们显然不能在此介绍了。在新的条件下，三个相互稳定而形成蜂窝状结构的原始滚卷，出现了方向上的竞争。其中的一个滚卷，又是通过一个偶然的涨落而获胜，从而支配其他滚卷，也就是迫使其他滚动都按照它的方式运动。

由以上所讲可见，各种自然现象的表现在这里是与在心理学或社会科学中起作用的那些现象相一致的。但这里观察到的各种自然过程的优点，在于它们经得起数学分析和检查。

令人惊奇万分的是各种完全不同的自然现象竟都会遵循完全相同的规律，对此本书还将进一步举例说明。

但即使现在，我们关于这一课题所具备的知识，也已能确立这一基本原理。若改变外部条件，例如改变液层上下表面之间的温差，则原来的——比如静止的——状态将变得不稳定，并将为一种新的宏观状态所取代。在转变点的附近，该系统通过不断涨落测探一个有序宏观状态的各种新的可能性。在不稳定点及稍上，新的集体运动形式将越来越强，最终压倒所有其他的集体运动。在有些集体运动中，竞争并不是唯一的反应。等价的力量间可能出现协作而产生新的模式。但与热平衡相变不同，这里将一再创建出新的运动模式，也就是说，我们总是碰到动态的情况。在结构的形成中，边缘的形状有时起一定作用。例如，若边缘的形状是竖的，那么可能有两个相互垂直的滚卷形式共存，从而会造成图 4·23 的模式。

也可以观察到甚至更复杂的型式，见图 4·24。这种模式不再是静止的，而是肉眼可见的连续运动，并不断显示液体运动的脉动，有时看来几乎像液体在呼吸。



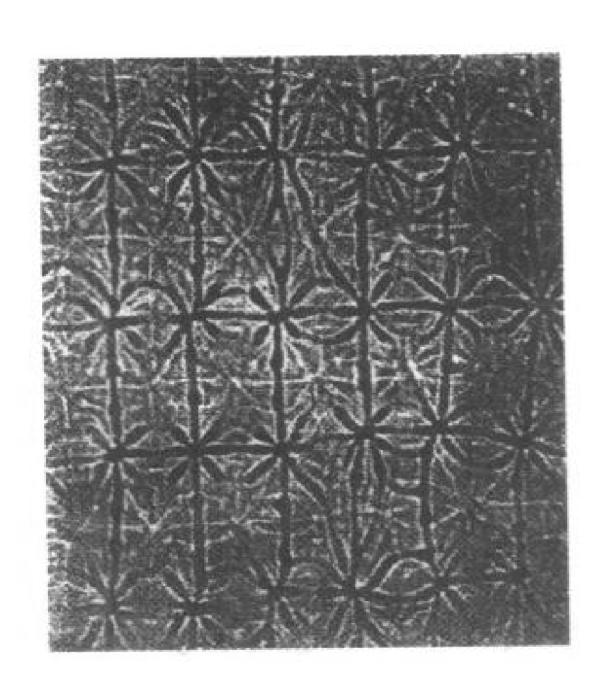



图 4·24　底部加热并形成复杂运动模式(看起来几乎像地毯图案一样)的液层俯视图。

## 运动模式的梯级

但是,液体的运动模式不只是通过加热而形成。

下面的实验在实验室做起来比较容易:在一个含有同轴内圆筒的外圆筒中灌满液体,并使内圆筒旋转。在旋转时它自然将带动部分液体;另一部分液体则粘附于外圆筒的壁上。内圆筒旋转速度较低时,出现同心的流水线。但若把内圆筒的速度增加到高于临界速度时,就出现一种完全不同的运动,即如图4·25a所示的滚卷运动。这些滚卷有点像"装进"罐头里绞在一起的香肠。进一步增加旋转速度,滚卷开始振荡。波开始环流(图 4·25b)。在更高的速度下,这种振荡变得更为复杂(图4·25c),而在最后一个速度阶段转入一种完全无规则的运动。这

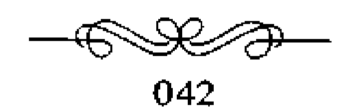


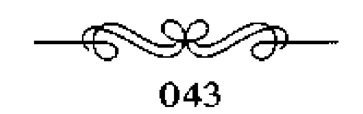




图 4·25　在两个垂直同轴圆筒之间的液体运动。外圆筒是静止透明的；内圆筒旋转。内圆筒不同的旋转速度形成不同的流体模式。

a)内圆筒周围的滚卷运动好像小香肠。b)滚卷振荡。

c)滚卷运动变得更加复杂。　d)无规则的混沌运动。





种运动称为湍流，最近也称为混沌①(图 4·25d)。

流体运动的这个例子表明，通过自组织可以形成越来越复杂的运动模式。用协同学的话来讲：新的序参数不断地接踵而来。

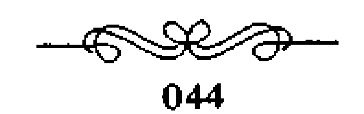
完全无规则的混沌运动的出现，可能导致序参数已丧失其控制能力的这个假定。我们将在第 11 章中回答这个问题。

这个例子的重要性还在于，它表明在某种严格规定的实验条件下，在自组织过程中也能产生混沌运动。近年来对这种混沌运动的探究方兴未艾。数学模型证明，不仅在物理学中，而且在大不相同的其他学科，例如经济学中，这种现象也必然存在。我们将因而发现，我们不得不放弃经济学理论中的某些教条。那些现在想推断自组织可能导致混沌，而从外部控制的组织可以避免混沌的读者们应该明白，他们会发现在自组织系统中控制本身也能造成混沌。

但让我们再暂时回到物理学上来。在流体力学中，形成越来越复杂的模式是一种普遍的现象，如图 4·26 所示。一种液体在圆筒周围流过；图中由上至下流速越来越增加。出现了次序严格规定的不同的模式，它们都与旋涡的形成有联系。

所有这些现象看来有点古怪，研究它们似乎意义不大。但本章开始时云的形成一例让我们看到，这些现象会在大得多的范围内出现。这些现象甚至可以用来解释地壳的大陆飘移。例如观察地球仪可以发现，南美的东海岸线与非洲的西海岸线正相吻合。德国地理学家阿尔弗雷德·魏根纳(1880—1930 年)在

① 湍流的本质十分复杂，近年有人试图用混沌理论加以解释，但尚在探索中，因此二者并不等同。哈肯教授 1986 年在上海讲学回答提问时曾提及以上看法。——译者





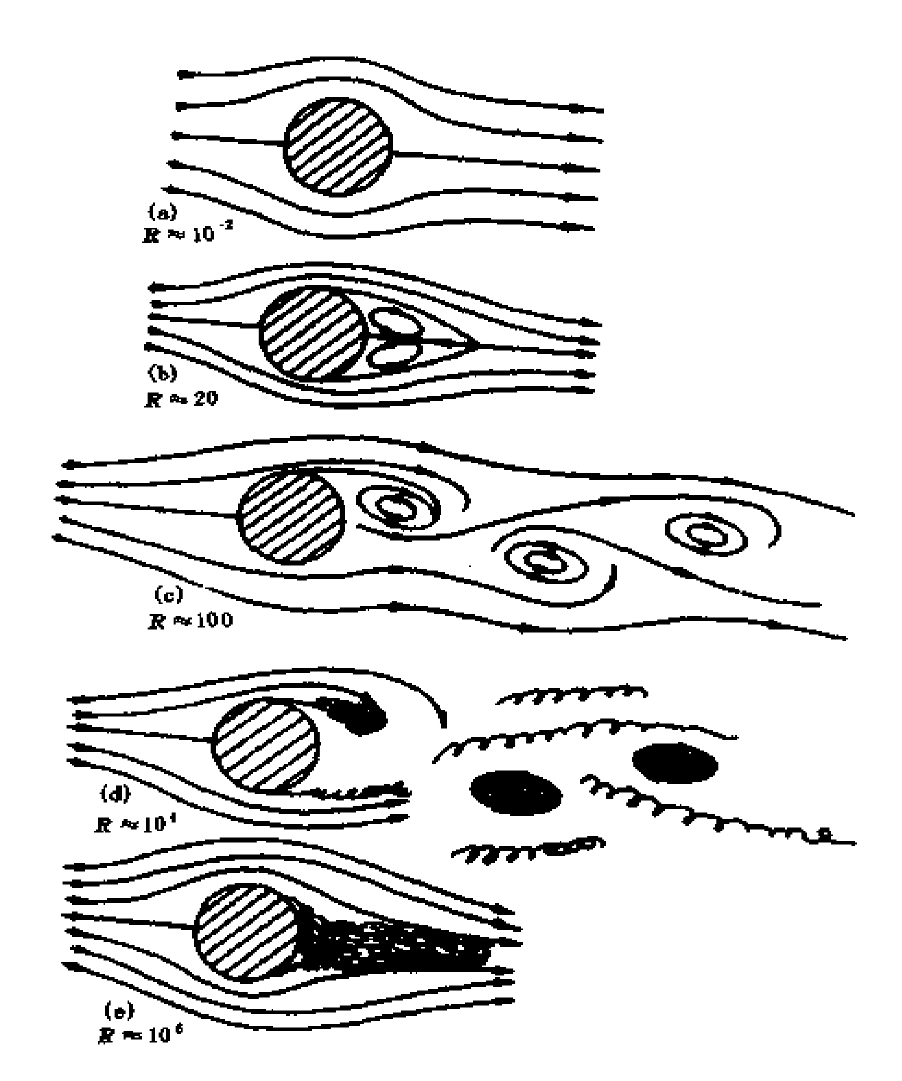




图 4·26　流体在圆筒四周流动时形成的流线图。随着流速的增加，流动模式越来越复杂。

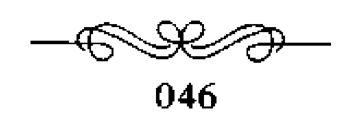
他的大陆飘移说中，不仅应用了这种表面的观察，也应用了对地质形成和动植物群所作的深入的科学比较。根据这个理论，几百年来，大陆在地表飘移了好几千公里。这种假设自然显得很大胆，因为人们总认为地壳是一种固定和坚硬的东西。然而必须记住，地球内部非常热，其性态很像一种粘性液体。这马上给了我们一条线索。我们可以把地球中心与其外壳之间的某一层看成流体层，它从底部加热，使上面具有一定的温度。这恰好正




是出现对流的原因，它们像滚卷那样移动，并因此能够移动整块大陆。这个过程确实是很慢很慢的。

类似地也可以用一个灌满液体的旋转玻璃球来作模型试验。这里也会形成特定的模式，它们有点像液体表面的移动的条纹，这为木星上各气体光环提供了模型。

理论物理学家和天体物理学家能够计算和预测这类模式的形成。这里的基本现象总是相同的：长成某种方式，亦即某种运动形式，它们将根据支配原理自行稳定下来。





# 5
# “要有光”①——激光

## 光有多种

1960年，我在美国默里山贝尔电话实验室任科学顾问。与在欧洲相比，美国大公司拥有的大型研究实验室的规模要大得多。在这些实验室里，深入的基础理论研究与实际应用之间的紧密联系，是不言而喻的。不久我就获悉了当时一项研究工作的核心秘密，有好几个小组参与其事。人们试图开发一种具有全新性质的新光源。这项研究的推动力来自1958年阿瑟·肖洛和查尔斯·汤斯发表的一篇文章。汤斯在此之前(1954年)，就与他的同事们一起设计制造了以崭新的方式产生所谓微波的一种仪器。微波与无线电波、雷达波一样是电磁波，所有这些电磁波都不能为我们的感官所感知，然而它们确实存在。这好像我们在漆黑的夜里，伫立在海边。若有一艘点着灯的小船随波起伏，我们就能看到波浪存在。这种情况有如电磁波，例如，利用收音机可以证明电磁波的存在。经过对电磁振动的某些变换之后，收音机把这些波变成了我们听得见的

① 出自《旧约·创世记》。——译者

声音。

贝尔电话实验室(以及美国其他与之竞争的实验室,它们并没有完全睡着)的任务是,根据汤斯产生微波的原理来产生光波。这一原理被称为“Maser”(脉泽)。同现代科学和技术的许多其他术语一样,Maser是一个人造词,几乎像一种文字游戏。它由几个英语单词的首字母组成:Microwave amplification (by) stimulated emission (of) radiation,意思是:辐射受激发射引起的微波放大——我们大多数人对它简直莫名其妙。很快又出现了激光“Laser”这个词:这里用光波而不用微波,因而就成了 Laser = Light amplification (by) stimulated emission (of) radiation(辐射受激发射引起的光波放大)。

我们不再做文字游戏了,下面让我们来看看激光器比普通灯泡跃进了多么大的一步。为了正确地估价这种进步,必须先稍微了解一下普通灯和它发射的光。我们将知道,这样做还会发现一条通向协同学基本思想的捷径。

让我们把所谓充气管作为普通灯泡的一个例子。这是一种充满某种惰性气体(例如氖)的玻璃管,单个气体原子由带正电荷的原子核和一系列带负电荷的电子组成,这些电子环绕原子核运动,好像行星环绕太阳运行一样。

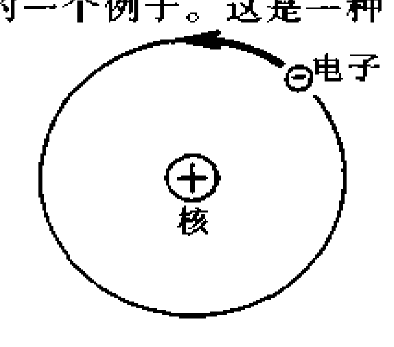
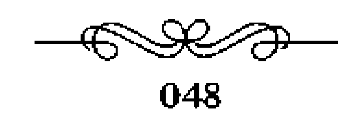



图 5·1 氢原子示意图。带负电荷的电子环绕带正电荷的原子核运行。

为简单起见,下面只研究一个电子,即所谓“光电子”的性态(图 5·1)。丹麦物理学家尼尔斯·玻耳在 1913 年发现,一个电子只能占有某些严格确定的轨道,其他轨道则拒绝它进入。这种性态只能用量子理论来解释。根据量子理论,电





子的性态不仅像一个粒子，而且也像一种波，它绕原子核运行时必须“首尾衔接”。因此只有严格确定的运行轨道才可能做到这一点。通常，电子好像在一个山谷里，也就是在最低的轨道上运行(图 5·2)。如果让电流通过这种管子，则因为电流是由许多自由飞驰的电子构成的，这些电子就会与气体原子相碰撞。这时一个原子的“光电子”可能会被撞击到一条能量较高的轨道上(图 5·3)，它也能自发地，也就是在不可预测的时刻，突然跃回到原来的轨道。电子在这一过程中释放出的能量进入光场(图 5·4)，而电子在最低的轨道上继续运行(图 5·5)。这就造成了光波，如同向水中扔石块造成水波一样。

在一个充气管中许多“光电子”显然经历这样的命运。这时就将像任意把许多石块扔入池塘产生水波那样产生光波。正像在水面上那样，将出现如同由面条般一条条波列组成的光场的剧烈运动。如果不断提高通过气体的电流强度，则越来越多的原子受到激发，可以预期，波列的缠结将越演越烈。这确实也是许多物理学家的看法。

我是第一个在我的激光理论中指出(对此我至今还感到自豪)，在激光器中所发生的情况将完全不同。出现的将是一种完全均匀的、几乎是无限长的波列，而不是一团乱结。随后在全世界许多不同的实验室中所做的实验，完全证实了这个预言。因此普通灯光与激光大不相同。以下的类比将说明这为什么令人惊奇。

我们在此用站在充水的水渠中的小人们来表示原子(图 5·6)，水表征光场。平静的水表面相当于没有光场的情况，也就是黑暗。如果小人们把棒插入水中，那么将在水表面激起波动，这相当于原子产生的光场。在一个普通灯光里，产生的是完全无规则的运动，而激光的情况就像小人们听到一声令下那样，同





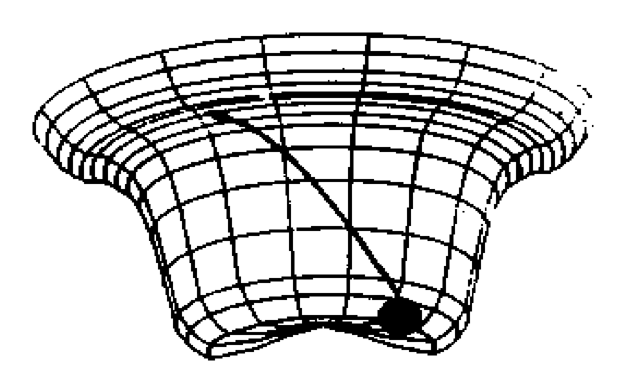


图 5·2　电子(黑色的球)环绕原子核运动。电子在槽形谷中运行，通过外界能量的供应，例如光照，可以把电子从最低的槽提升到一个较高的槽中。

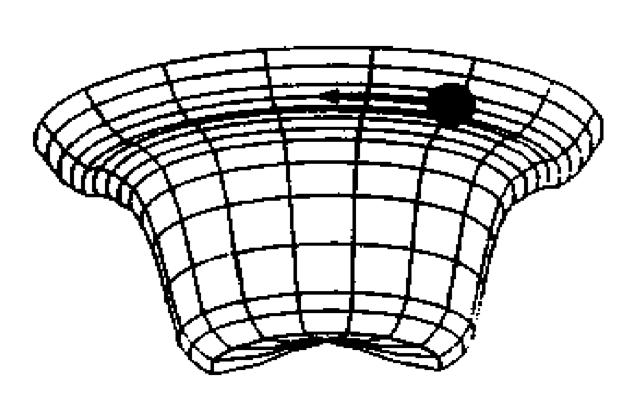


图 5·3　电子在较高的槽中运行，这相当于原子的受激状态。

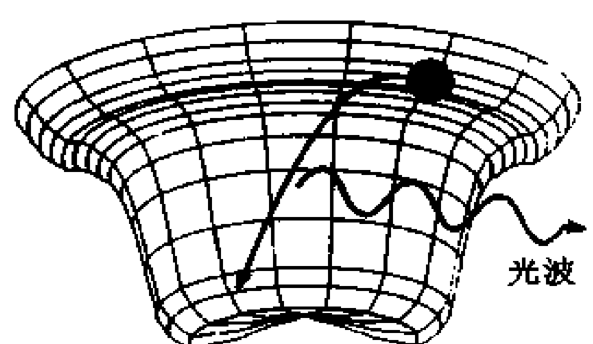



图 5·4　电子由较高的槽落回到较低的槽中，此时以一个光波的形式释放出它的能量。

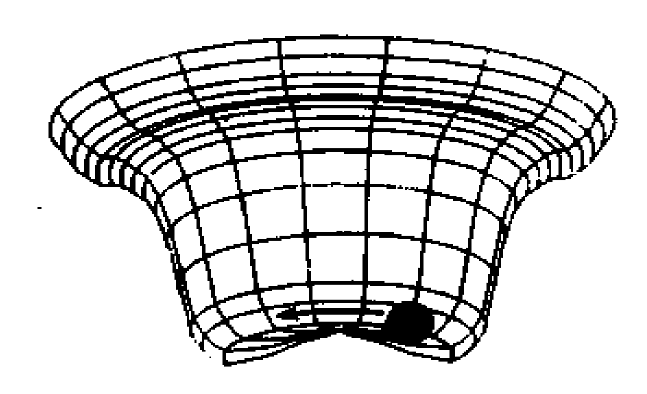


图 5·5　电子又在最低的槽中运行。



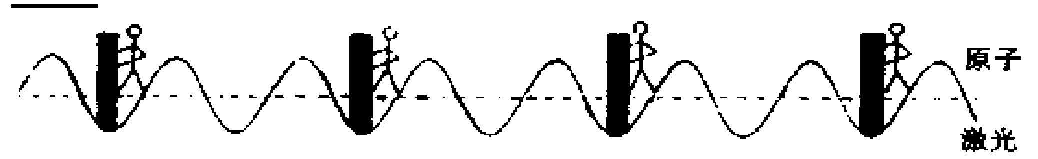
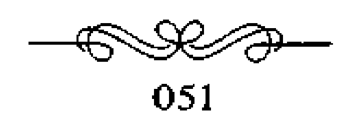




图 5·6　普通灯光与激光作用原理示意图。小人们持棒站在充水的水渠中。上图：他们分别把棒插入水中。扰动的水面表示一盏普通灯的光场。下图：他们一齐把棒插入水中。生起了相当于激光束的齐整的水波。

时把棒插入水中，水表面出现了一个均匀运动。在人类领域中，小人们怎样会如此协调动作是容易明白的。在他们身后蹲着一个老板或一个工头，这个人不断吆喝着“干，干，干”，因而棒的插入得到了严格的控制。然而没有人对激光原子这样发号施令。原子的行为是自组织的。这样，激光提供了一个通过自组织而建立有序状态的例子，其中无序运动被转变为有序运动。这就使激光成了协同学的一个模型。

可以用它来比拟完全不同领域中的许多过程，特别在社会科学中。

但我们在进一步论述之前必须更深入地探讨协同学的基本思想，这点之所以重要，是因为要不然可能会造成这种印象，似乎我们是不假思索就轻易地把物理学中的研究成果直接移用于像人类社会那样复杂的现象中去了。可是从激光中简单地认识一些能使我们进一步接近于理解自然界中生命过程的基本特征，那倒并非难事。





# 激光器中的自组织

让我们对一个激光器作较仔细的观察，以便揭示其自组织的秘密。激光器与普通的充气管的不同之处，只在于激光器在其玻璃管的两端有两个单面镜(图 5·7)，它们的作用是使沿着灯管轴线行进的光波能尽量长久地留存在管中(图 5·8)。如果使其中一个镜面稍微透明一点，一些光线就会从中放射出。那么为什么要使光较长久地留存在激光装置里呢？因为这可以使

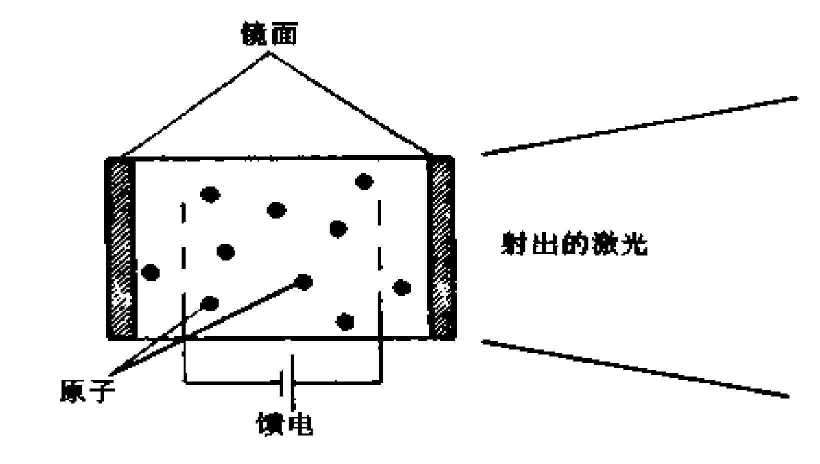



图 5·7　典型激光装置。

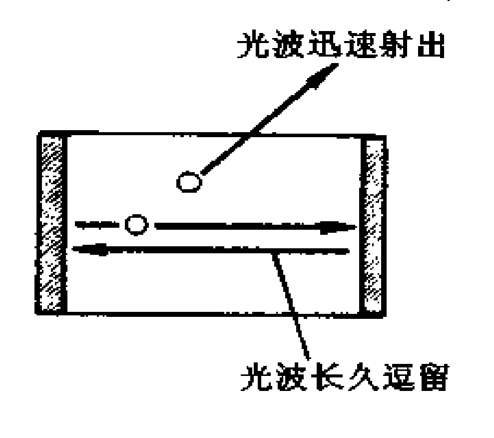
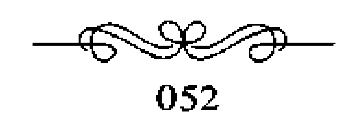



图 5·8　两平面镜之间光波的不同性态。与轴线相倾斜地行进的波很快逸出；沿轴线行进的波在激光器中长久留存。




我们懂得本世纪初爱因斯坦预言的一个过程。现有的光波能迫使一个受激的光电子以相同的节奏一起振荡,一起跳舞。正如一个疯狂的踢踏舞者跟着乐队加快的节奏跳舞,最后精疲力竭地倒下,电子也这样加强光波,也即升高波峰,直到把它的能量完全交给光波,然后又回到它的基本状态,即"静止状态"。

由于镜子的存在,光波较久地留存在激光器中,它能够支配越来越多的受激光电子,并迫使波峰越来越高。

但即使波的高度相同,这些波也不一定一致。有些波的相邻波峰彼此紧接,而另一些波的波峰则相距较远(图5·9)。事实上激光器发射时,其中的波完全不同,它们是几个"冒失"的光电子所放射出来的。这些波相互竞争,以求从其他受激光电子得到加强。但是,这些电子加强各种光波的方式并不完全相同,而通常是把自己的能量交给自己稍为爱好的某一种波。这是与光电子的固有"跳舞节奏"最为接近的一种波。虽然这种特定的波常常只占很微弱的优势,但它将以排山倒海之势得到加强,最终压倒所有其他的波。这些波将受抑制,光电子的所有能量都将输给那种非常有规律地振动的波。相反,一旦这种波建立了它的主导地位,它常将支配一个原子的每一个新受激的电子,并



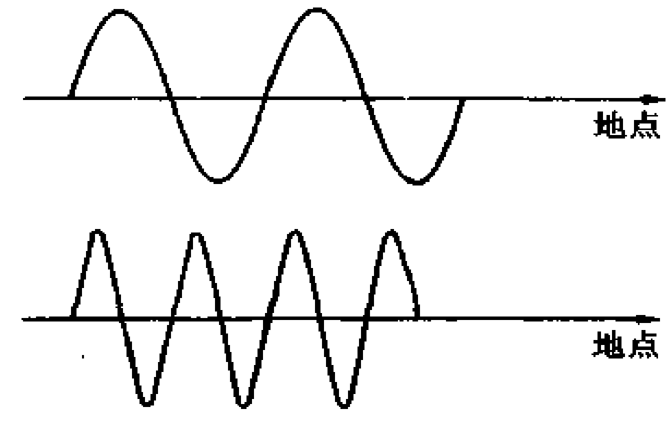
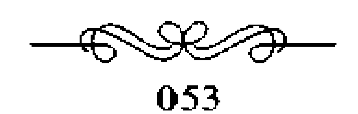



图5·9 "并非所有的波都一致"。波峰间距不同的波的两个例子。



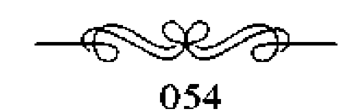


使光电子按它的周期共振。这样，新生的波确定了激光器中的序，它起着序参数的作用，读者们对序参数这个概念应该是熟悉的。

由于这个序参数使各个电子恰好按同一节拍振荡，从而在各个电子上打上了其活动的印记，所以，我们说，电子为序参数所“支配”。反过来，正是电子通过它们一致的振荡而产生了光波，即产生了序参数。一方面是序参数的存在，另一方面是电子的相干性态，二者相互制约。这是一种典型的协同现象。为了使电子按同一节拍振荡，需要有一个序参数——光波。然而又只有通过电子的一致振荡才能产生光波。似乎需要假设一种首先创建有序状态的较高层次的控制力，然后有序状态得以保持下去。但正如我们刚才所知道的，事实并非如此，先于有序状态的是一种竞争，一种选择过程，所有的电子都受某种波的支配。这里有趣的是，开初时各种波完全由电子偶然地、自发地产生，但后来按照竞争规律受到筛选。这里有协同学中典型的偶然性与必然性之间的相互作用，其中的偶然性是自发的放射，而必然性则是不可抗拒的竞争规律。

## 激光器——一个具有相变过程的开放系统

只要在任何一根普通灯管的两端装上平面镜，就能成为一个激光器吗？几乎就是如此。但我们还需要注意另一个关键问题。在普通灯管中，受激光电子放射的光波迅速逃逸，以致没有时间得到其他光电子的强化。这就是说根本不可能产生受激放




射，而不同的波系并不能延长它们的寿命。各种极不相同的波万箭乱发似地放射出来。激光器上的平面镜的意图，是阻止沿着激光器轴线的那些光波逃逸，以便为通过受激发射的加强光波提供足够的时间。但能把光波永远留在激光器中那样完善的镜面是没有的。此外，光波还可能由于其他原因而损失，例如散射。此外，激光器在所有的实际应用时，平面镜也要放走一些光。因为我们毕竟希望用激光去照明各种东西。

这就使何时可以产生激光成了一个量的问题。我们必须迅速而连续地使光电子受激，使它们能足够快速和有效地强化光波，以补偿由镜面造成的损失。换句话说，我们必须保证使光波的能量损失能够通过受激放射产生的能量增益而得到平衡。这表明，当增加通过光管的电流时，普通光将突然转变为激光。这里有着一个临界的电流强度，在那里电流强度只要有一个小小的变动，就会大大改变激光器中的有序状态。只有通过不断地向激光器输入能量（例如电流），才能保持激光放射。同时，能量以激光的形式（以及其他损耗）不断放射出来。于是激光器不断与周围环境交换能量。它是一个开放系统，同时它又远不是一个热平衡态的系统——完全像一台内燃机。

宏观有序状态的突然出现很使我们想起磁铁或超导体的性态，那里也存在着具有完全新型物理性质的有序状态，虽然那些系统与激光器不同，它们与其周围环境处于热平衡之中。我们在斯图加特和一个美国研究小组一起向人们展示，激光转变表现出通常相变的全部性质，包括“临界涨落”和“对称打破”，这使许多物理学家大感意外。因而激光器是无生命自然界和有生命自然界之间的一座桥梁。正当我们增加激光器的能量供应时，它便通过自组织而达到了有序状态。同所有生命系统一样，它也是一个开放系统。




化学激光器比其他所有一切更能提供联系生命过程的一座有趣的桥梁，因为其中进行着某种物质代谢作用。诸如氢和氟等物质被加入化学激光器中。这两种物质之间反应激烈，氢原子与氟原子之间建立起新的伙伴关系。两个伙伴之间的这种化学键合强烈得激发出光电子来。这些光电子以我们前面已了解到的方式放射激光。

这里，能量是在化学反应中产生的。常以热的形式释放出来的化学能量，被转变为激光的严格周期波动的有序能量。我们有如面对代谢作用，在其中低质量的燃烧能转化为高质量的光能。这好像在一个发动机汽缸中气体混合物发生爆炸时一样，分布在多个自由度中的热能转化为活塞的动能，最终驱动汽车。我们还将一再发现，微观能量转变为少数几个自由度的宏观能量，看来是生物过程中的基本原则之一。

我们不仅可以通过增加电流强度，频繁地激发各光电子，从而实现激光的发射。我们还可以设想另一个过程——让每个原子的泵入强度保持不变，而只是不断增加激光原子的数目。当激光原子少于某个数目时不可能发射出激光，而只有当激光原子的数目增加到高于这个确定的临界数时，激光才突然发射出来。这里我们事实上面临一个从量变到质变的问题。

这些例子证明，自组织过程可以通过各种方式发生。下面讨论在生物学中的应用时还会经常提到这点。

从另一个角度来看，激光也可能构成通向生物学的桥梁。通过安装两个镜面，我们为激光原子和由它们产生的光波创造了一个严格确定的“环境”。根据物理学规律，两个平行的镜面间只能传播某些波长完全确定的光(图 5·10)。这意味着，一开始就只有这些波才能用作激光光波。很可能原子的光电子最喜欢向之放射的波，根本不适合作为两个镜面之间的波。然而电

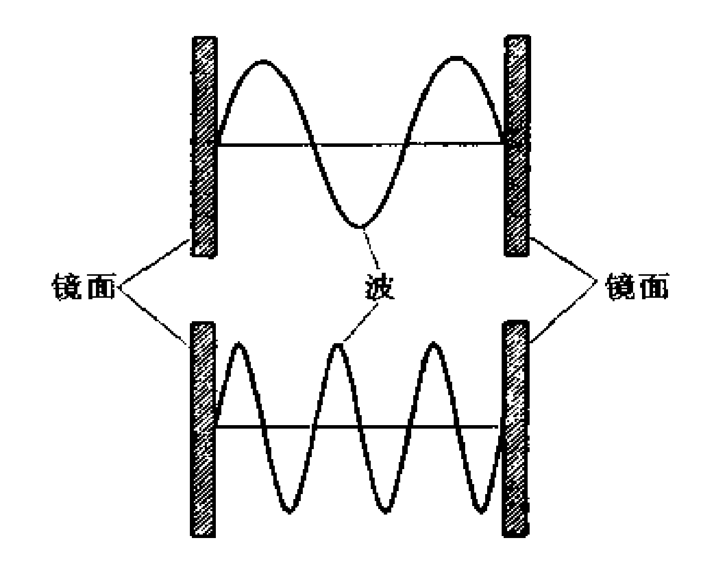



图 5·10　两镜面之间只适合于完全确定的波。

子并不放弃放射激光，而是选择那些与它们自己喜欢的光波的节拍最为接近的光波（当然只有在一定限度内）。缓慢地改变平面镜之间的距离，也就相应地改变了电子的激光放射——它们适应了新的环境。这时可能出现一种非常值得注意的情况：镜面之间出现一种新的波，它比迄今被接受和支持的波更接近于电子所"喜欢的波"。然后首先有几个电子自发地以一种涨落的形式开始在这种新的波中放射其能量。不久所有其余的电子都很快支持这种新的波，而完全放弃了原来的波，也就是，这些电子适应了一个新的、由一个涨落引起的"镜面环境"。

激光像流体一样，可以通过增加能量供应而达到一种宏观有序状态。不断增加对流体的能量供应，就会出现越来越复杂的模式，直到最终出现湍流。对于激光，情形完全相同。若进一步增加电流强度，则激光器将突然开始规则地放射出难以置信地短促而强烈的闪光。每次闪光放射的功率都相当于美国所有发电厂功率的总和。一次闪光只延续万亿分之一秒。这种闪





光——也称为超短激光脉冲——是许多不同波的协作产物。它们之间的竞争已经停止,取而代之的是一种巨大的协同力量。最后,我们的理论预言,激光器还可能产生一种新型的光——光湍流,这是实验物理学家的一个新的研究领域。本书初版时预言过的研究领域现在已成为现实。特别是我曾预言过的光湍流已被发现。光湍流是所谓决定论的混沌的一例,对此我们将在第 11 章中进一步阐述。






# 6
# 化 学 模 式

## 化学里的牵线搭桥

近代化学为我们提供了大量模式的绝妙例子。大家知道，某些化学物质能相互反应而构成新的化合物。最常见的例子自然是燃烧过程，其中一些化学元素，例如碳和氧，进行化合。化学反应往往并非像这个例子所示的那样自发进行，例如，点火需要一个最低温度。但是，化学家们发现，常常还有使化学反应能够进行或至少便于其进行的其他可能性。通过添加某种物质可以使某种化学反应进行，否则反应就不能发生，或即使能发生，也非常缓慢。这种物质可以是某种金属(例如铂)片。它们本身在化学反应中保持不变。可以把它们比作撮合结婚对象的月老红娘一样，也就是它们使一些化学物质结成新的伙伴关系。化学家把它们称为催化剂(图 6·1)。这里化学家遇到一种现象，过去总被认为是罕见的奇事，而现在已具有日益

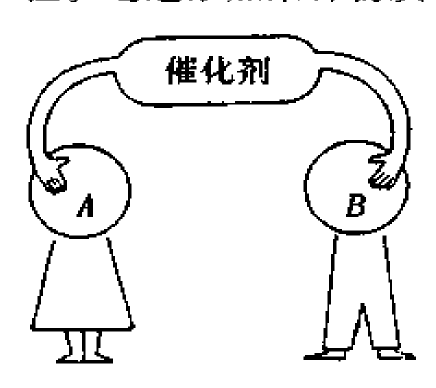
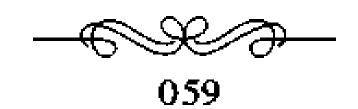



图 6·1　作为化学“媒婆”的催化剂。




重要的意义。这就是存在一些能自行催化的物质。这听起来十分复杂,实则无非意味着这种物质的分子能在一定程度上,好比说,自行增殖而已。它们能把其他分子转变和加以合并,从而产生与自己同样的分子(图6·2)。从这种能力中,我们已可见到生命的一种特性,以后我们在进化论中再遇到这种反应时便不致感到意外。物质自行催化的反应叫做自催化。那么,当化学反应时,在微观和宏观范围内发生什么情况呢?在微观范围内,物质由分子组成,而大家知道,分子又由原子构成。这些分子,让我们把它们称为1型和2型分子,在化学反应中相遇,形成一个称为3型的新分子。这样,分子的物理性质和化学性质一般将发生变化,例如颜色改变了。这可以在化学反应中明显地看出,例如一种蓝色的液体和一种无色的液体可以产生一种红色

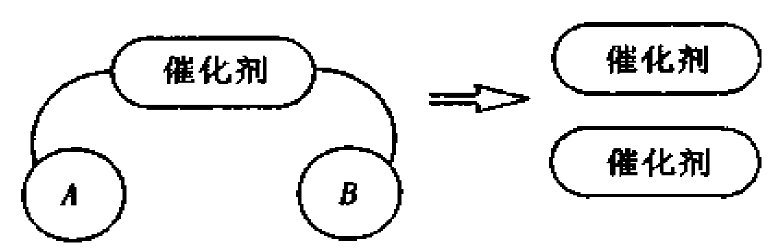



图6·2 一种催化剂把两种分子结合在一起,从而产生了同它自己一样的催化剂。这称为自催化。

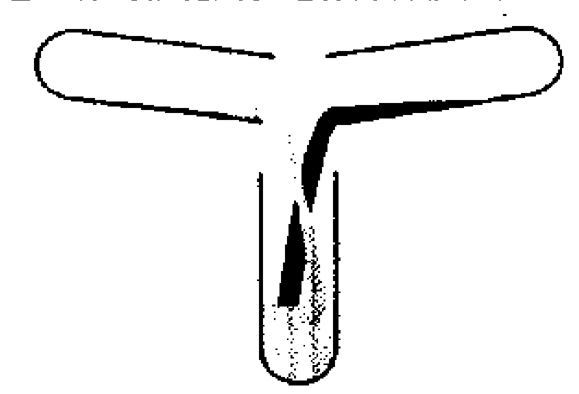


图6·3 混合和搅拌化学物质通常也导致均匀的最终产物。




的液体(图 6·3)。通常,这种新构成物质的颜色十分均匀,并且以后一直保持这种状态。但也并非一定如此,这就把我们带入本章所要讨论的课题。在本世纪内人们发现了一些相当复杂的反应,其中出现的宏观型式的尺度,要比分子本身的尺度大上亿万倍。

## 化 学 钟

最著名的例子是由俄国人别洛索夫发现,而后由沙包廷斯基系统地进行了研究的一种反应组合。这种反应十分复杂,我们不打算在这里详细介绍,但它形成的化学模式却非常有趣。随着时间的推移,溶液的颜色发生周期性的变化,从红色到蓝色再恢复到红色,依此类推(图 6·4)。根据这种反应可以制成一个钟,因为钟无非是一种不断给我们指明某种周期性的时间持续的装置。需要指出的是,在原来的实验中,是一次把几种物质放在一起,并充分混和,而后它们自行进行的反应就显示出周期性的颜色变化。然而这种颜色变化不会永远进行下去。约几分钟后,就会达到一个最后的静止状态。

然而可以把实验这样改变一下，不断把新鲜物质添加进反

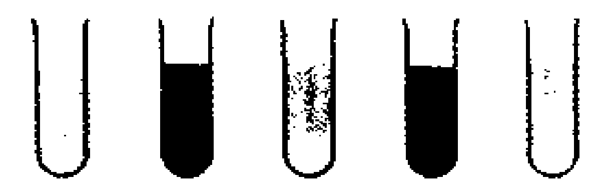


图 6·4 别洛索夫－沙包廷斯基反应中由红色到蓝色的周期性颜色变化。





应的容器中去，并取出反应的产物。这样一来，这种周期性颜色变化确实可以永久进行下去。

这类涨落的发现对生物学家有着极为重大的意义。生物体中的活动过程归根结蒂基于化学或电化学的过程，其中许多反应是有节奏地进行的。一旦明白了化学钟能起作用的道理，我们就在理解生物体中的有节奏过程（例如心脏跳动）方面迈出了一大步。如同在激光中那样，在涨落现象中序参数概念和支配原理起着作用。当加进去的物质达到某个浓度时，本来稳定的反应变得不稳定，并将由周期性的变化（即一个涨落）取而代之。这种涨落起着序参数的作用，支配着各个分子。它迫使分子周期性地化合后又分解，分解后再化合，于是宏观上溶液周期性地呈现红色或蓝色。有可能对这种涨落过程作数学处理，并极精确地决定序参数的重要性。

新近的研究表明，与能量转换相联系的单个细胞的代谢过程是循环的、周期性的。

## 化学波和螺线

还有许多比刚才所讲的更美妙和更复杂的现象。图 6·5 中显示了几个这类模式，这些也是别洛索夫－沙包廷斯基反应所造成。一些蓝点起先无规则地出现在红的底色上，蓝点扩展成蓝色圆盘状，随后又出现一个红点并很快扩展成一个红色圆盘。盘中以后又出现另一个蓝点，如此反复不已。同心蓝色环向外扩展。在其他实验条件下，如用钉子划过液体，将出现螺线，彩图 1 显示了螺线变化的时间序列。



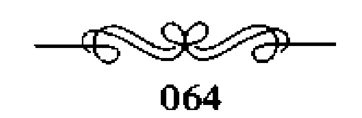




图 6·5　同心环形式的化学模式。环向外移动,螺线旋转。

这类宏观模式的起因，乍看起来似乎很难理解，但我们可以很方便地举出一例加以说明。可以把同心环的起因比作为一场燎原大火。红的底色表示一片干草。若无风时在某一处点上火，那么火焰就均匀地向四面八方作环形扩展。如果把蓝色看作燃烧的地面，那么就出现一个不断向外扩展的蓝点。在其中心处，青草又可以长出来，重新干燥，出现红色的一片。由于草虽在扩展着的火焰后面长出来，但还没有到可燃烧的程度，所以红色斑点将继续向外扩展，直到中心处的草变得十分干燥，又成为可燃烧时为止。然后又周而复始。在这里所讲的化学反应中，无需点火形式的外来干预。系统自身可以说是超临界的，可以自行开始形成蓝点的反应。除此之外，两种现象十分相似。草的燃烧与别洛索夫－沙包廷斯基反应一样，都意味着发生了某种化学变化。但此后发生了一种逆反应，导致原来状态的重新出现。

在别洛索夫－沙包廷斯基反应的波或螺线中，相互反应的分子会合在一起，也就是它们必须能够移动。它们通过渗透来做到这一点。我们在日常生活中对渗透已有感性认识。例如用吸墨水纸吸一块墨水渍，墨水就渗透吸墨水纸，并在纸内进一步渗滤而形成另一块墨水渍。这里所描述的宏观过程一方面基于化学反应，另一方面基于渗透的交互作用。因此，这些过程用方程来表示，这在专业语言中称为反应—渗透方程，但这不在我们的讨论范围之内。对我们来讲，重要的是，这里数学处理证明了序参数的存在，它控制着时—空型式的发展。根据序参数类型的不同，这些模式可以是环形波或螺线。





# 一个新的共同原理

在上面所举的激光物理、流体物理和化学的实例中，我们一再看到一方面是序参数另一方面是支配这两个概念。这两个概念是贯穿本书的一条红线。在化学反应中，我们首次意识到一种新的共同特点。刚刚讲过的化学振荡和化学波，都以自催化过程为基础。某一类型的分子通过它的存在和协作使产生更多的同类型分子成为可能。据此，激光中的现象又有了新的意义。这里也是一种已经存在的光波，正由于它的存在迫使原子中的电子交出能量来加强这一种光波，这正是一种自催化过程（图6·6）。与序参数和支配原理相似，自催化概念所具有的重要性远远超出了化学领域。在这个意义上，流体中的滚卷运动也具有自催化的特性。不断发展的滚卷运动，即使开始时运动是微弱而纯粹是偶然形成的，也将得到加强。自催化和集体运动不稳定性不断增加，二者是一回事。这表示大自然显然一再应用同样原理来造成各宏观有序运动或模式。

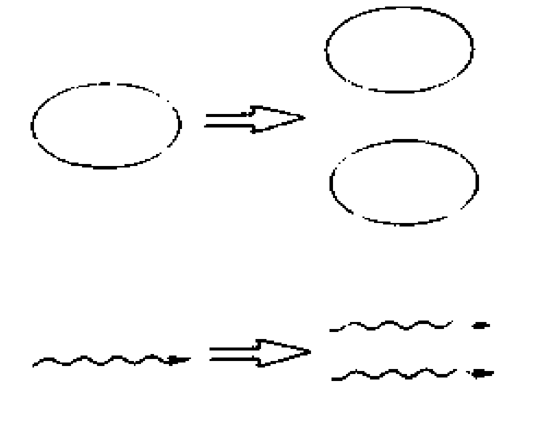
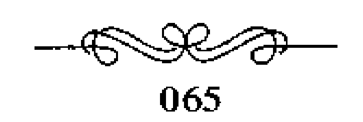


图6·6　分子的自催化（上图）与激光器中光波的加强（放大）（下图）之间的类比图。



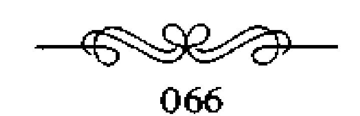


# 7

# 生物的进化
# ——适者生存

迟至上世纪初，各种植物和动物的物种起源，对人类的理解力而言仍是大自然的一个深藏的秘密。英国人查尔斯·达尔文(1809—1882年)取得了一个决定性的突破。他在南美等遥远地域广泛深入的考察航行中，丰富多彩的动植物世界以及它们为了生存所具有的各种精巧的器官，引起了他的注意。经过多年思索后，他得出了关于动植物物种起源的全新理论，其基本论点今天已为人们完全接受。我们称这种理论为达尔文主义。但我们忘记了与达尔文同时代的一个年轻英国人艾尔弗雷德·拉塞尔·华莱士(1823—1913年)，他独自得出了与达尔文完全相同的想法。

1856年，也就是他从华莱士那里得到对他来说是个十分震惊的消息——华莱士已自己得出关于进化学说的系统阐述——的两年之前，达尔文写了一封现已名闻遐迩的信给查尔斯·莱尔(1797—1875年)，他说自己还没有准备把他的观点公之于世，这是与莱尔认为公布他的学说能防止他人抢先掠美的意见相左的。达尔文写道："我不喜欢为了居先而发表这种念头，但如果有人在我之前发表我的理论，那我是会生气的。"(歌德说："可叹！

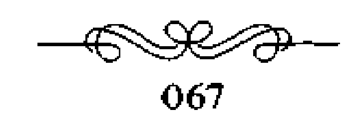



我胸中藏有两个灵魂”,这似乎是许多科学家的典型态度,而达尔文是社会学家R·K·默顿所引的这种态度的许多例子之一。)

1858年,打击终于来临。莱尔对达尔文提出过警告而达尔文不肯相信的事真的发生了。达尔文写信给莱尔告知这个巨大的打击:“〔华莱士〕今天寄给我这份附件,并请求我转交给您。我觉得这封信很值得一读。您的预言不折不扣地应验了——可能有人抢先掠我之美。这样的巧合是我生平所未见的。如果华莱士曾抄过我1842年的手稿,那么他也未必能作出一份更好的摘要来。他的许多词句大可用作我的各章的标题。因而我的独创性,不论是否重要,势将丧失殆尽。”

谦逊和淡泊促使达尔文放弃对首创权的要求,但他那希望得到认可和首创权的愿望却又驱使他认为并非一切都已完了。起先,他以其特有的恢宏气量,但又非故示大方,准备作出完全退居一旁的绝望决定。一周后,他又写信给莱尔,询问能否发表他早已写好的一篇长文章的约十来页的简短摘要。但他在信中又苦恼地说:“我不敢说这样做是十分光明正大的。”为矛盾的心理所折磨,他这样结束了这封信:“我亲爱的好朋友,原谅我吧,这是一封徒劳无益的信,受了徒劳无益的感情的影响。”力图完全摆脱这种心境,他又加上附言:“我将不再就此事来麻烦您和胡克。”

第二天,他又写信给莱尔,这次是为了撤回他的附言,但仍心神不宁。好像是命运的安排,正在此时,厄运降临,达尔文的小女儿死了。他终于依从他的朋友约瑟夫·多尔顿·胡克(1817—1911年)的要求,把华莱士的原稿和他自己在1844年所写的原始手稿寄了出去。他写道:“这只是为了使您能认出这是您曾读过的我自己的手稿。请您不要浪费很多时间。我为自己如此念念不忘于首创权而感到闷闷不乐。”科学界的其他人士为





饱受折磨的达尔文做了他不打算为自己做的事情。莱尔和胡克承担了此事，安排了一次林奈学会的重大会议，两篇论文在会上同时宣读。

这就是进化论的正式诞生的时刻。如果有毫厘之差，那我们今天就不会把这种理论称为达尔文主义而要叫做华莱士主义了。在第16章中我们将讨论为什么这两人之一会名扬天下，而另一人则差不多已为人忘却。以下就是达尔文理论的基本论点。达尔文认为，在自然界中有一种发展过程，复杂的生物是由较不复杂的生物产生出来的。这里一方面是生物的遗传特性——基因型，另一方面是动物或植物现有的完成形态——表现型之间的相互影响起着根本性的作用。达尔文认为，遗传性能够自发地变化。这就是突变。我们现在已能证明传递遗传特性的基因的这种突变。这些变化属于微观性质。

由于遗传特性的改变，动物或植物的性质也改变了。例如，白蝴蝶后代可能有黑翅膀，翅膀可能残缺或变形。通过这些变异，动物对环境的适应性可能增强或减弱。例如鸟的喙改变之后，可以吃以前不能啄到的昆虫。大自然不断以其丰富多彩的各种形态令人大感惊异，而且它们常很快显示都是极为实用的。在早先的世纪里，这种实用性常被认为是目的论的，就是说，上帝所以这样创造动物，是为了使它们能最有效地找到食物。但按达尔文的观点，这些形态的产生一方面是由于偶然的突变，另一方面是由于选择。各种动物，或多或少地善于适应它们的环境，为食物而竞争。也可能有其他形式的竞争，例如鸟类在寻找筑巢地和免受危害的处所时，各种不同物种之间的竞争开始了，而只有适者生存了下来。这些就是达尔文主义的基本论点。

然而，这里我们遇到一系列的困难，认识到这些困难的主要是生物学家和自然哲学家。“适者生存”规律可以比作一只猫咬





它自己的尾巴而团团转。谁能生存,谁就是适者。但用无生命世界的一个例子,就可以解开这个死结。因为达尔文主义不仅存在于有生命自然界,而且在无生命物质中也存在着。我们已把激光作为一例,其中我们发现各种激光光波之间存在着竞争,最终也只有一种波生存下来。我们当然可以称它为"适者"。然而重要之点在于,在激光物理学中我们可以事先计算出哪种模式或哪种波将生存下来,也就是说哪种波是适者。这里有着客观的标准,从而我们在整个过程前,已可以预言谁将取胜。但这里还有一个保留条件:偶然有几种波会同时成为适者的候选人。

它们之间的这种对称性能够被打破,换句话说,在它们之间所作的最终选择只能通过一种偶然的、我们无法预测的波动来实现。但除了这些不同模式之外,我们可以有绝对的把握说,还有许许多多种其他模式决不会生存下来。

这样,激光动力学提出了一个物理模型,使我们可以用实验手段和数学方法来理解达尔文主义的结论。在此,达尔文主义的结论很快被严格证实。

在一定程度上依赖受激原子而"生存"的激光振动过程,可以直接移用到有生命的自然界。不同的,但依同样食物而生活的物种将展开竞争,而结果只有最能干的那种,例如能最快取得食物的物种将会生存下来。



## 生物分子间的竞争

有生命自然界和无生命自然界中选择过程的这种相似性,并不局限于上面所讲的激光波动。在"无生命"与"有生命"之间





的另一桥梁，是由曼弗雷特·艾根的进化理论①在极相似的意义上建立起来的。这种理论建立在这种主张的基础上，即某种生物分子把遗传因素传递下去，对此我们在第9章中还要更详细地谈到。目前唯一的重点是，生物分子可以像激光方式那样，通过自催化而增殖，并在这过程中进入竞争。不仅如此，艾根理论的原始文本中描述生物分子增殖的方程，有着与激光波“增殖”的方程完全相同的形式。这些方程是由不同的学者完全独立地导出的，在两个全然不同的领域中出现这样的一致，不可能是巧合——事实上它指出存在着普遍适用的原理，我们在本书中确实一再遇到这些原理。

当然，这种进化理论的特别诱人之处还在于，它通过用突变和选择并因而通过生物分子的“较高发展”把无生命自然界与有生命自然界联系起来，而在一定程度上显示出由“无生命”至“有生命”的过渡。毫无疑问，生物化学领域中还有许多研究工作要做，但已作出了一个大有前途的开端。

为了完整地说明问题起见，需要再讲几句话。近年来艾尔弗雷德和彼得·舒斯特尔改善了关于生物分子自催化增殖的思想。

在最简单的情况下，存在A和B两类分子。这两类分子都通过自催化增殖。此外，A类作为一个催化剂帮助B类增殖，而B类又作为一个催化剂帮助A类增殖，这种组合如图7·1左所示。这个图可以扩大到包括几种分子类型，例如三个类型的分子A、B、C以自催化的方法增殖。再则，A帮助B增殖，B帮助C增殖，而C最终又帮助A增殖，每个类型的分子都起着催化剂

① 参阅M·艾根，P·舒斯特尔：《超循环论》，曾国平、沈小峰译，上海译文出版社《当代学术思潮译丛》，1990年版。——译者





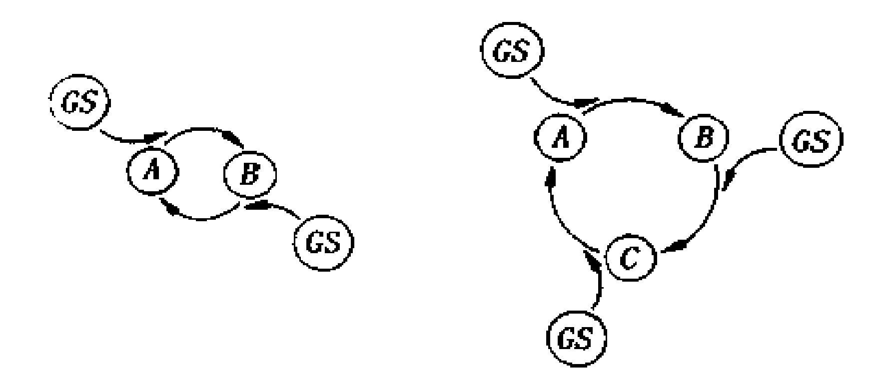
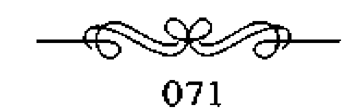



图 7·1　艾根超循环的两个例子。
左图：A 类分子自催化增殖，但必须有 B 类分子作为催化剂参与。反过来，B 类分子自催化增殖，同样必须有 A 类分子作为催化剂。GS 表示这些分子是由某种简单物质产生的。
右图：有三个不同类型分子的超循环，其中每一种都自催化增殖，但如图所表明，每次仍需其他类型的分子参与。参与分子的循环可以大得多。

的作用。艾根和舒斯特尔称这种类型的较小或较大的循环为超循环。反过来超循环除相互竞争外，又可能受到突变的影响。在激光波中，在生物分子中，在超循环中，并在动物和植物界中，达尔文主义都起作用。

达尔文规律支配着有生命和无生命物质，这一事实显示它的重大意义。它对必然要研究诸如职业和经济竞争的社会科学也有直接的意义。在这个意义上应用达尔文规律，就形成了产品相同但售价各异的各公司。这些公司受市场选择作用的影响，最后只剩下一个公司来垄断市场。这种最后必然产生一个巨大的联合企业的强烈趋势，是否确实为自然的趋势？也就是在为生存而进行的激烈竞争中，只有绝对的最适者才能生存？大自然也为我们指出了几条出路。这一点，我们将在下一章中加以论述。




# 8

# 不是最适者也能生存：专门化并创造自己的生态小环境

在严密的考察下，只有适者才生存的这个理论存在着许多难于理解的问题。根据这一论点，使人感到不解的是，为什么世界上会有那么多不同的物种，难道它们都是最适者吗？这一点启发我们还应对生存问题作进一步的探讨。

大自然确实设下无数妙计，击败了适者生存这个论点。首先，不同物种之间的竞争，当然只有在它们共同生活在一个地域中才会发生。显然，生活在被海洋隔开的各大洲上的陆地动物之间不可能存在竞争。例如，在澳大利亚演化出一个与其他国家完全不同的动物圈，比方说，有袋类动物，袋鼠仅是其中一例。

即使各个物种所居很近，它们却常能创造出新的生活环境来。例如鸟类，它们因长着完全不同的喙而开发了不同的食物来源(图 8·1)。于是这些鸟类通过建立"生态小环境"而不需在相互之间展开激烈的竞争。在这个范围内，我们当然也可以说，它们在各自的专门领域中是最适者，因为它们是具备这种特殊







1 加岛鸣燕雀

2 大型树燕雀

3 中型树燕雀

4 小型树燕雀

5 工具树燕雀

6 红色树燕雀

7 厚喙地燕雀

8 中型地燕雀

9 小型地燕雀

10 尖喙地燕雀

11 厉喙地燕雀

12 大仙人掌地燕雀

13 仙人掌树燕雀

图 8·1　燕雀的各种鸟喙形状，表明鸟喙为了各种用途而高度专门化。图中象征性地画出了每一物种所吃的食物。在一个与大陆隔绝的岛上，燕雀具有大不相同的喙。出现了新种，但并未出现新的科——它们仍然是燕雀。达尔文首先描述了它们，洛伦茨画了这张图。

1＝食虫鸟；2—6＝主要食虫鸟；7—12＝主要食植物鸟；13＝食植物鸟。





能力的唯一物种。生态小环境在一定程度上好比是一块野生动物保护地，某一特定的物种能够独立生活而不受外界干扰的保护区。我们关于食物来源的例子表明，生态小环境并不一定由隔离的地域所形成，虽然地域隔离可以更好地起生态小环境的作用。

通过专门化的共存决不只限于生命界。例如，在激光器中也有这种情况，只要不同的光波从不同的原子取得能量，它们可以同时出现而不相互竞争。在职业和经济生活中，竞争问题也起着决定性的作用。我们后面还要谈这个问题。

有趣的是，大自然不仅为我们提供了通过专门化而生存的例子，而且也提供了通过一般化作用而生存的例子，例如某些动物所吃的食物很广泛，野猪就是一例。

在激烈的生存斗争中一个特别有趣的例子是共生现象，其中不同的物种相互帮助，而且甚至只有这样大家才可能生存。大自然给我们提供了大量的例子。蜜蜂依靠花蜜为生，同时也四处奔波传播花粉，为使植物更加茂盛而操劳；一些鸟飞到鳄鱼张开的口中，"清理"鳄鱼的牙齿；蚂蚁把蚜虫当"乳牛"。据认为，渡渡鸟依以为生的圣难树注定要灭绝，因为它的种子只有经过渡渡鸟的消化加工才能发芽，而渡渡鸟却已死尽。（根据近来的报道，生物学家已发现，火鸡也能为这种可以生存达几百年之久的圣难树的种子加工。）

但是，我们决不能看到这些细枝末节而忽视全貌。通常决不是只有两三种动物相互竞争或共生。事实上，大自然过程是牙磕牙似地紧密联系着的。大自然是一个高度复杂的协同系统。

各个相互联系的自然过程是否能导致一种平衡，这是一个具有根本意义的问题。近来，"生态平衡"成了一个热门话题，然




而，这一平衡由于人类的干预而遭到越来越大的破坏。但是，最近的研究有力地提示，即使没有人类的干预，生态平衡或即生物平衡也决不像人们长期以来所假定的那么完美。谈到平衡，我们一般总想到静态平衡，比如某些鸟类的品种数几乎经久不变。

然而自然界的情况并非总是如此，这类变化可以由自然灾害引起，这是我们都熟悉的事。例如冬日苦寒而夏天又可能大旱和酷热；或则严霜突临，以致鲜花凋零而蜜蜂乏食。灾害的出现打乱平衡状态，例如鼠害或金龟子灾，它们破坏其他生命领域。但对于这种不平衡的可能性暂置勿论。

即使在这种自然灾害之后，我们仍然想当然地认为，原有的平衡会重新建立。后面将看到，自由市场经济理论就是以一个完全相似的假设为基础的。

大自然当真这样稳定吗？事实上，越来越多的例子表明，大自然的平衡决不只是一成不变的。二十世纪初，亚得里亚海的渔民们发现，他们的捕获量有规律地涨落。他们很快发现，其原因在于鱼的数目是有规律地涨落的(图 8·2)。两位著名的数学家洛特卡和伏尔特拉(1860—1940 年)在本世纪二十年代各自对这种情况作出了数学上的解释。他们指出，原因在于有两种鱼类，其中之一是捕食鱼，另一种是被前者所捕食的鱼。周期性涨落的机制如下：开始时只有较少的捕食鱼，在这段时间内，被捕食鱼可以不受阻碍地繁殖，捕食鱼因此能找到较多食物，从而能迅速地繁殖起来。最后，捕食鱼的数量大增，大大减少了被捕食鱼的数量。这又转而减少了捕食鱼的数量，这样周而复始。

在数学模型中有可能出现捕食鱼偶或吃光了所有被捕食鱼，从而它们自己也遭到全部灭绝。大自然阻止了这种过程的出现。它为被捕食鱼提供了不受捕食鱼袭击的避难所。

在加拿大也发现了一个类似的循环，那里的雪兔为大山猫





所捕食(图 8·3)。由于繁殖率和死亡率还受到其他因素的影响,这里所讲的模型概念有时也受到非难。但它们确实显示,在大自然中不一定能把静态平衡视为当然。

这种情况在某些昆虫群中更为明显,它们的数目涨落完全是无规律的。后面将要谈到,现已作出一些数学模型,我们可借

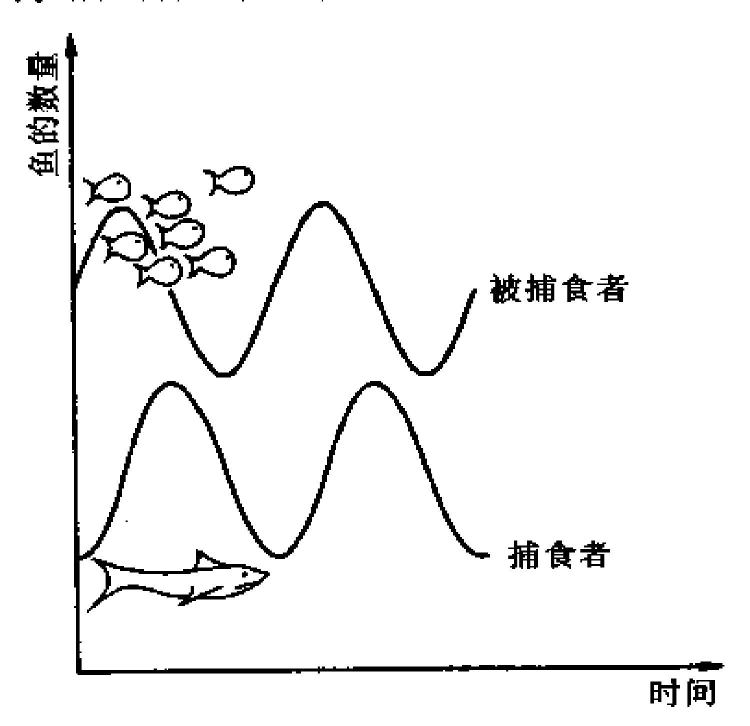



图 8·2 捕食鱼和被捕食鱼的数目随时间而涨落,参见正文。

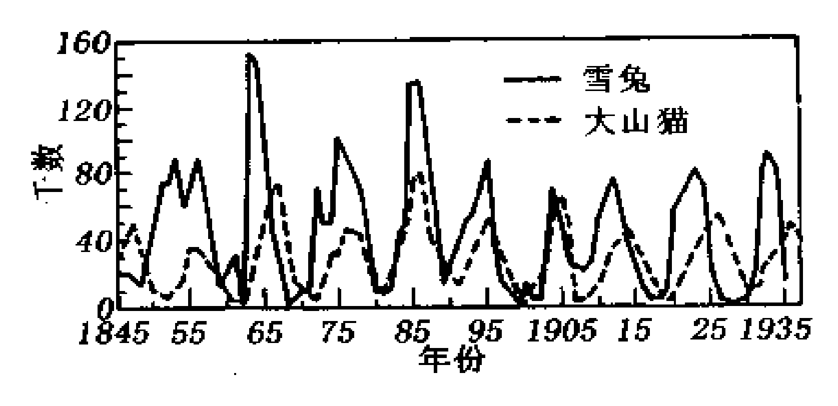



图 8·3 雪兔和大山猫数目的周期性涨落。





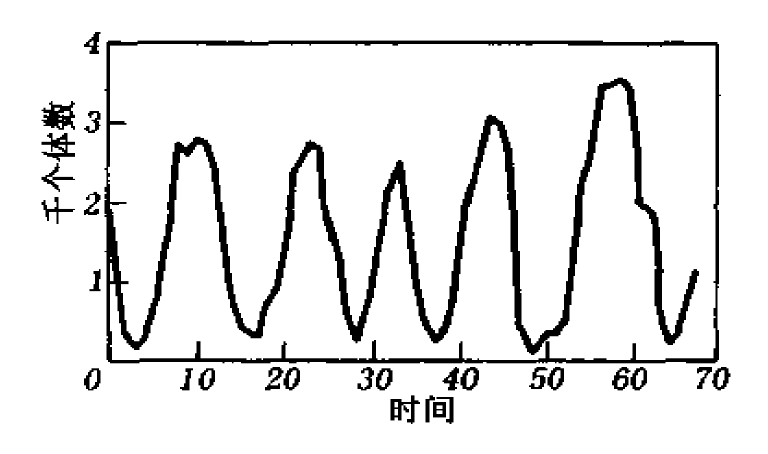



图 8·4　一种昆虫群的时间性涨落。

以深刻理解看来甚至是完全无规律的过程(图 8·4)。

这些例子表明,静态生态平衡的思想过于幼稚。另一方面,我们必须记住,如果确实建立了一种平衡,那么这种平衡将特别敏感,这又使我们回到了协同学的一个基本理论上。

在上面各章中一系列物理和化学的例子显示,在某些临界点上,甚至环境条件的微小变化也会引起宏观上的巨大改变。在前面的例子中,我们总是研究使系统达到较高程度有序性的那些变化。当然也可以从另一方向来研究它们。也就是说,环境的微小变化可以破坏一个已成立的有序状态。

许多涉及动物群变化的过程,都可以用数学来描述,从而使协同学的数学方法可以应用于这些问题。在这个数学层次上,可以从而建立有生命自然界与无生命自然界中出现的事件之间意义深远的相似性。其结果可以用几句话讲清楚:在有生命的自然界中,即使外界环境的微小变化也常能创造出完全新型的有序状态,也就是各种物种的全新分布。当我们观察高山上极不相同的植物分布时,就可以明显地看出这一点。在不同植物带之间常有明确的高度区作为界线,完全类似于地球上的气候带。这个例子清楚地表明,即使年平均温度发生十分微小的变




化，完全不同种类的植物将十分突然地凌驾于其他植物之上。当我们通过人工干预手段改变四周的环境时，可以预期发生相同的变化。例如把废水排入江河而致污染程度提高了10%，如果我们预期鱼群减少10%，那么头脑未免太简单了。事实上，如在一个临界点上，污染程度哪怕只是增加一点点，鱼群就会完全死亡。换句话说，水的平衡会突然改变。在这里，我们不时遇到的一个协同学的基本原理就变得格外明显了。那就是，在某个不稳定点，即使是很小的环境变化，也可能造成整个系统的极大变化。

最后让我们再次回到自然界本身。在自然界中，当气候变化时，环境条件也发生变化。前面所述已明确告诉我们，甚至微不足道的气候变化也可能产生实质上是崭新的选择过程，从而促进发展。

但"促进发展"并不意味着新发展起来的物种必然客观地优于被取代的物种。新的物种只是更适应于新的生存条件。也甚至可能出现被人们认为退化的变化。复杂生物可能被较简单的生物所取代。这一点甚至可能发生在生物分子的层次上，生物分子在新的环境条件下可能丧失一部分遗传性，因为没有了这些遗传性也能过得去，甚至能繁殖得更快。佐尔·施皮格尔曼曾在某种噬菌体的生物分子核糖核酸(RNA)上进行过这类实验。

有生命自然界中涉及的变化过程完全不同于在化学反应、激光或流体运动中的变化过程，但在所有这些过程中，仍是相同的基本原理在起作用。这里，物种起着序参数的功能，它们可以竞争、合作或共存。

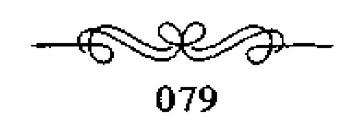
环境条件的微小变化可造成全新的序参数或序参数系统。当然，首先必须出现一个新的序参数，在这里是一个新物种，在激光器中，这种变动是光波的自发形成，在流体运动中是一个微





小的热量变化，在化学反应中是一种新分子的初始反应或自发形成。这里又明显地出现偶然性与必然性之间的相互作用。通过环境的变化可以创造一定的条件，使得有关序参数所形成的新的有序状态得以实现。但首先必须通过偶然创造一个新的物种，这在生物学中是通过突变。但是，一个原来数目很小的物种（例如在一个生态小环境中），现在可以突然大量繁殖并变成具有主导作用的物种。

在所有已讨论过的情况中，序参数与个体之间存在着一种特殊的关系，这可以用以下例子来说明。在许多情况下，序参数可与一个简单的数学量相关联，即与某一物种的个体数目相关联。这个数目的时间变动，可以通过例如计数来确定；在许多情况下还可加以预测。在这些数量细节的后面隐藏着无数个个体的命运，它们是由总人口这个序参数虽然只是总体地，却又是极其严格地决定的。如果一个不发达国家在一段时间内所具有的食物少于使全体人口生存的最低所需，那么就必须减少人口数目，即减少序参数。但是谁将遭到这个残酷的命运，则不可预料。在经济生活中也有类似的情况，例如失业或在国家事务中。一般说来只能对序参数作出预测，但不能对间接受影响的命运作出预测。我们马上就要回到这一点。



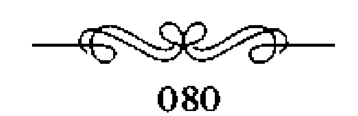


# 9

# 生物有机体是怎样起源的?

## 通过分子进行遗传

在上一章中,我们对有生命自然界种类极为繁多的生物之间协作的动力学作了概括的讨论,现在我们来探讨生物本身。一方面生物以其形态繁多使我们不胜惊异,而另一方面,长期繁殖的生物的形态又经常保持不变。可见形态的形成必然受到严格的控制。然而形态是怎样产生,它的形成又是怎样受到控制的呢?最简单的答案是遗传性。我们现在终于知道,身体上和无疑还有精神上的性质是通过一种实质性载体,亦即每一物种所特有的化学化合物而遗传的。化学家给这种物质一个复杂的名称:脱氧核糖核酸,简称 DNA。它是两条相互缠绕的螺旋形分子链,也被称为双螺旋体(图 9·1)。在一条分子链上,一般有四种不同的分子似乎随意地排列在一起,这条分子链就像一条由四颗不同类型的珍珠串成的项链。(图 9·2)。这四种分子的名称不易为外人所理解:A(Adenin——腺嘌呤),C(Cytosin——胞 嘧啶),G(Guanin——鸟嘌呤),T(Thymin——胸腺嘧啶)。这些名







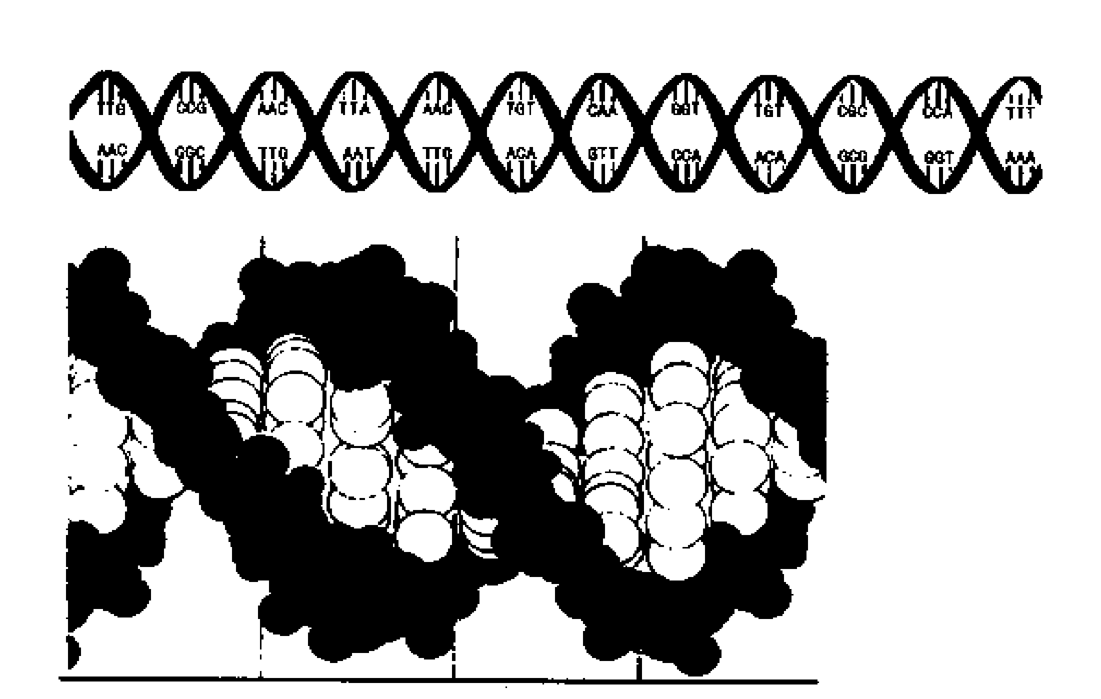


图9·1　在双螺旋体上配置的DNA的分子链。上：纵截面。下：透视图。

称本身，我们也许会很快忘记。如果给各种分子涂上不同的颜色，那么，它就将成为一条色彩缤纷的珍珠项链。

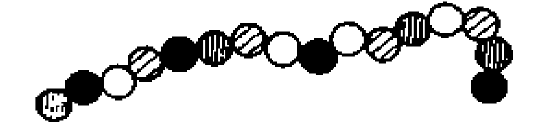


图9·2　四种不同的分子沿着一根分子链配置，就像一串珍珠。

DNA将被转录在细胞内，就像由负片印成照相正片。这时，通过化学途径产生核糖核酸RNA，分子A、C、G、T中的每一个都将转录为一个新的分子：

| DNA | RNA |
|---|---|
| A | U(Uracil——尿嘧啶) |
| C | G |
| G | C |
| T | A |





研究结果表明,这些分子(珍珠)经常每三个构成一组,例如:

GAU, CCU, GCU, UUU,

它们是构造一种完全特定的“氨基酸”的关键词或密码(图9·3)。

CGG UAU CGG UGA ACA

图 9·3 包含三个分子的密码子的例子。

在某个 RNA 中出现的序列 GAU—CCU—GCU—UUU,就是对细胞的书面指令:构成一个蛋白质,在第一个位置放置天冬氨酸,在第二个位置放置丙氨酸,等等。从而 RNA 大致控制了细胞的物质结构。但描述许多重要的细节,将远远超出本书的范围。由 A、C、G、U 构成的每个三元组因而是一个信息单位,一个密码,又称密码子。对不同的生物,DNA 以及 RNA 都包含几十个至几百万个这样的密码子。它们可以铺满书的一页,甚至一整本书,如人体的 DNA 就是如此(图 9·4)。

人们不由得想到,DNA 把指令,也可以说把构造方案,从一种有机体传递到另一种有机体。再打个比方,它就像一盘含有一支乐曲的录音带。

但如果我们更深入地研究有关遗传的这种想法,将发生困难。为了把一个构造方案付诸实施,就需把精确的指令包括在内。例如必须指出,正在发展的有机体中的一个细胞应放在哪里,并应具有什么特性。但是如果计算一下需要有多少指令,或者用专家的话来说,估计需要多大信息量才能构成有机体,那我们立即得到一个远远大于可能存储于 DNA 中的数字。或者,仍把 DNA 比作为一本书,那么,比方说,对人体来说,其信息量将需要一个很大的图书馆来容纳。因而大自然必然已经发展出一







图 9·4　一种病毒的 DNA 序列的例子。

种以少得多的信息，而仍能完成计划的办法。必然有着某些自然规律，据此一种给定的 DNA 可以发展成一个有机体。

我们打过这样的比方，DNA 就像一盘上面存储着磁信号的录音带。我们还需知道把信号转换成乐曲的录音机这个比方。但这里有一个显著的区别：一切表明，大自然以一种难以想象的巧妙方式变换着 DNA 信号，似乎只是规定了这一乐曲的主题，而把详细的安排托付给录音机，也就是托付给生长中的有机体本身。但是这样一来，DNA 含有严格规定的信息项目这个主张就成问题了。DNA(或 RNA)“再现”其主题，完全取决于环境。举一个极端的例子，把 DNA(或 RNA)丢在一个沙堆里，那根本什么也不会发生。相反，只要一点儿这种物质就可以“支配”细菌去制造出胰岛素。

## 生物形态形成的典型例子

在进一步探究这个问题之前，我们必须再次把目光转到那些能够解释发展成形态或器官的机制的实验上去。像所有其他科学分支一样，在生物学中也使用某些模型系统，它们的特性比较简单而容易研究。两个常见的例子是粘菌和水螅。

粘菌通常以生存于表土下的单个变形虫型细胞的形式存在。如果单个细胞的养料不足，那么它们好像接到了一道密令一样，突然在某一点上聚集，而且越聚越多，并且分化出茎秆和孢子囊(图 9·5)。整个粘菌能够移动，像一条蛇在地上蜿蜒前进(图 9·6)。这个聚集的第一阶段就非常有趣。各个细胞怎么会知道它们应该集合，以及集合在何处？生物学家发现，细胞可

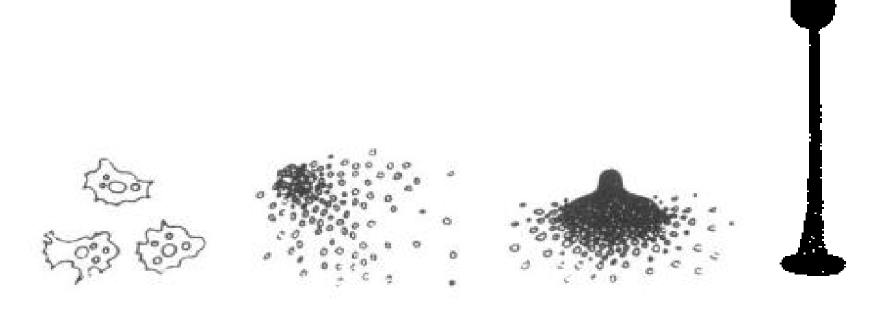


图 9·5　由单一变形虫发展为成形真菌的图示。

以产生和分泌一种物质(所谓循环腺甙单磷盐酸 cAMP)。如果第二个细胞遇到这种 cAMP,那么这个细胞会分泌出更多的 cAMP。通过一方面这种加强效应和另一方面渗滤的协作,将形成化学波或化学螺旋的模式(图 9·7)。单个细胞能够测量出 cAMP 波的密度梯度,并通过它们用作桨的小外翻突起朝着密度增加的方向移动。

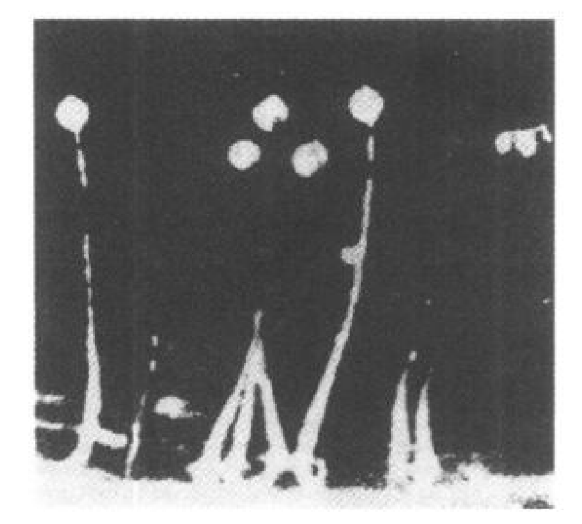
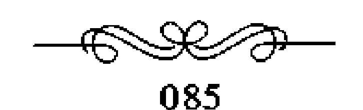


图 9·6　粘菌。

这个例子清楚地告诉我们,可以把诸如螺线或同心圆的模式形成,在无生命自然界与在有生命自然界(这里指粘菌)中的化学反应作完全相同的类比。这儿的根本原因在于,描绘宏观秩序的同样序参数规律也管理着模式的形式。

单个相同的细胞集合后,开始了一个很容易看到的新过程,但是它的各种原因还没有得到充分的解释。各细胞粘附在一起,在集聚物的一侧形成茎秆,而在另一侧形成为孢子囊,也就是说细胞分化了。在这个分化过程中,cAMP 似乎也起着一个决定性的作用,但有关的研究工作还有待继续进行。然而



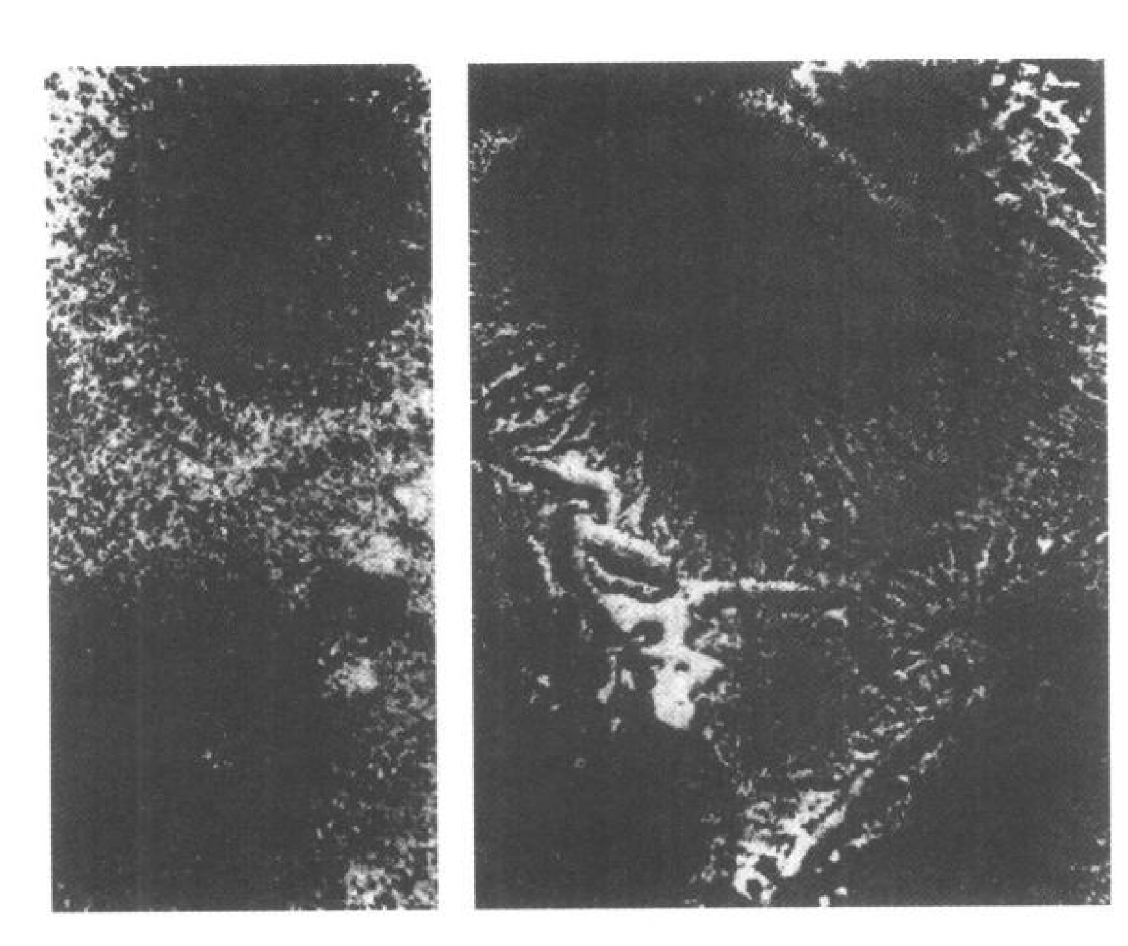



图 9·7 cAMP 的螺旋形波,(a)和(b)。

在这个例子中，同样很清楚地显示，各单个细胞是借助于一种化学物质而相互沟通的。认识这一点会马上帮助我们理解模式的形成。

一个很为人熟悉的例子是水螅。这是一种几毫米长的淡水珊瑚虫,它由十几种不同类型的几十万个细胞所组成。水螅有一个头和一只脚。我们要研究的问题是,一个原先未分化的细胞群怎么会知道,它该在哪里长头,在哪里生脚。根据以前讨论过的早就存在着一个构造方案的想法,我们可以假定,每个细胞在开始时就已得到指令,它后来该成为什么,是头还是脚。

可以对水螅进行如下的试验(图 9·8)。如把它从中间切



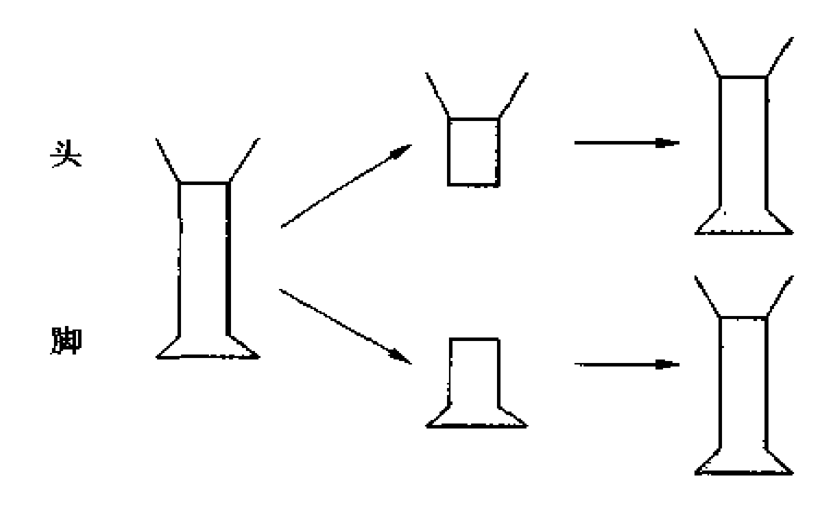




图 9·8　水螅再生的示意图。
左：一个有头有脚的完整水螅。
中：被分割成两部分的水螅。
右：脚的再生(下图)和头的再生(上图)。

开，则形成为两个小水螅。那个有头的小水螅将再生出脚，那个有脚的小水螅将再生出头。这表示相同的细胞可以发展成两种完全不同的器官。因此这些细胞必然以某种方法从细胞群中得到指令，以便得知它们所处的地位——是处在应当长成头的一端呢，还是处在应当生出脚的一端。换句话说，细胞必须能得到关于它在细胞群中的位置的信息。进一步的实验将对控制这种信息沟通的机制提供进一步的说明。

把一个水螅的头的一部分移植到另一个水螅的中部，并仍紧靠原来的头，那么它不再继续长成为新的头。但若新移植的头与原来的头离开得相当远，那么新移植的头的一部分将长成一个完全新的头。显然，细胞必然能在相当远的距离内传递信息，也就是说，已存在的一个头保证不使第二个头在其极近处形成。

# 分子基础上的宏观模型

粘菌的例子已揭示,细胞之间的远距离信息传递可以通过渗透的化学物质而建立起来。实际上,数学家图林很早就提出过解释细胞分化的模型。我们来观察两个原先相互分开的细胞,在其中进行着相同的化学过程(图 9·9)。在这个过程中产生了一种 A 型分子,它却又部分地分解,直至最后形成了某一种显然在两个细胞里是相同的平衡浓度。现在我们让物质在两个细胞之间来回交换(图 9·10)。通过这种物质交换,可使在两个细胞中的平衡浓度状态变得不稳定。这一点最好仍用山顶上的球这个模型来显示,也就是用一条协同曲线来显示。若球滚向左边,则表示左边细胞中 A 型分子的浓度提高;若球滚向右边,则表示右边细胞中 A 型分子的浓度提高。制造 A 型分子时的小小初始差异决定了两个细胞中哪一个将具有较高的浓度。鉴于在两个分开的细胞中的浓度相同,A 型分子以对称方式分布在两个细胞中,而在耦合的细胞里,这种分布变得不对称,也就是对称被打破了。这种类型的空间对称被打破,对形态形成的现代理论十分重要。一大批研究工作者进一步发展了图林的基本思想,他们为很多个细胞中的化学过程设计了专门的模型。更确切地说,他们研究的是在一个连续系统中的反应过程。

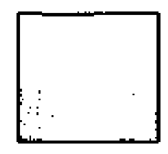
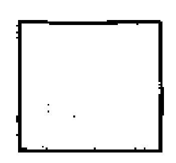
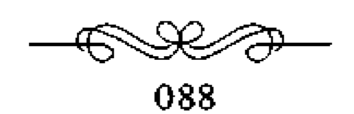



图 9·9 在分开的同个细胞中,化学物质的浓度相同。

阿尔弗雷德·吉雷和汉斯·迈因哈德设计了一个精详的数学



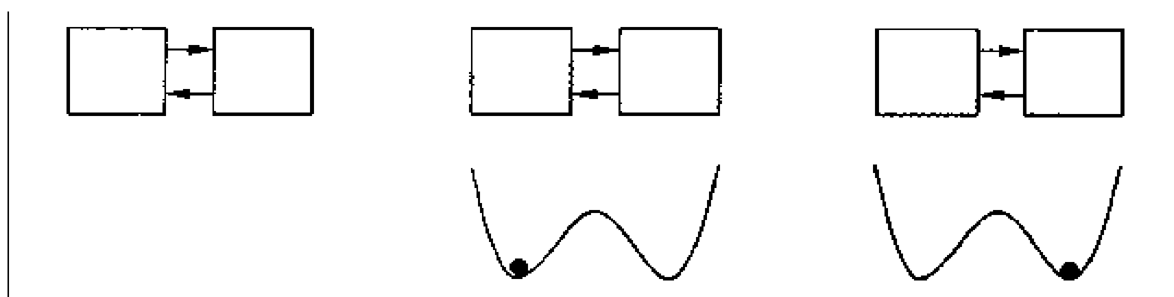



图 9·10　现在把图 9·9 所示的两个细胞移放在一起，使细胞间进行物质交换。这种物质交换连同各细胞中的化学过程，导致物质浓度的不均匀分布。这里出现的对称被打破又通过两只碗中球的两个位置来表征。

模型，可以用来说明例如水螅的脚和头的形成。其中特别涉及以下问题：在一个起初并未分化的伸长的细胞群中，怎么会在一端形成头，在另一端形成脚。设想一种起初并未分化的细胞群，其中产生出两种不同种类的物质。其中之一是促进头部形成的物质，因而称它为生长素。但前面已看到，头部的形成也会受到抑制，因而必须假设存在另一种物质，它阻碍和抑制头部的形成，因而称它为抑制素。

现在设想细胞群中各个细胞起初同样地产生生长素，也可能产生抑制素。这些物质能在细胞群中渗透，并相互作用。如同前面关于化学过程的一章那样，我们重新研究反应和渗透过程的联合效应。在这里，我们对如在生长素的某个临界生产率下出现一种化学模型，就不再感到奇怪了。结果可能，例如，是一种浓度梯度，它也许是可以设想的最简单的模型（图 9·11）。按现下的看法，高浓度的生长素能把它那儿的各单个细胞的基因接通，这种基因影响细胞的分化，从而生出头来。这里发生的过程程序正好与协同学的一般格式完全符合。最终形成的化学模型是序参数，它一方面通过化学物质的协作而产生，但另一方面又控制着各种化学过程程序的进行，以确保这种特殊模式得




以形成。

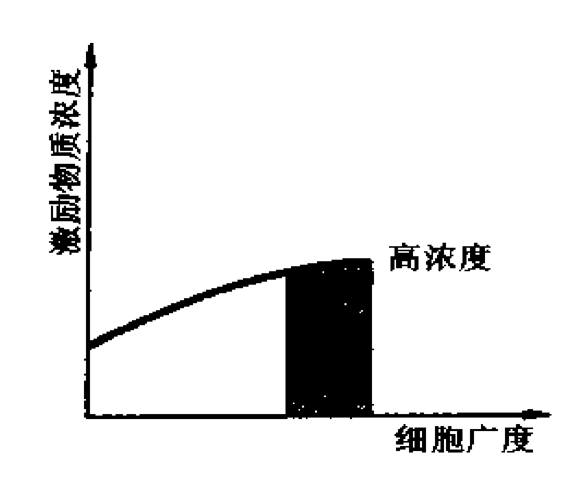



图 9·11　生物分子浓度分布的例子。左：低浓度。右：高浓度。

前面所有的例子都说明，可以用两种方式来体现序参数：通过感官能见的空间（或时间）模型，或通过精确的计算。一旦对基本过程用前已提及的反应－渗透方程的形式加以描述，协同学的方法就为我们提供所形成的浓度分布。协同学亦指出，完全不同的反应过程可以导致相同的空间模型（图 9·12）。

在一段时间内，这里提到的生长素和抑制素好像纯粹是一种假设，但现在已为实验所证实，水螅的头和脚各有一种生长素和一种抑制素。这种生长素和抑制素似乎遍布于大自然中。例如，已经证实它们存在于海葵中，它们甚至在哺乳动物的神经系统的形成中也起着决定性的作用。很久前发现了一种神经生长的因子，这种物质从细胞分离出来，渗透细胞组织，在一定程度上吸引了来自另一个细胞群的神经，并且，比如说，控制它们向身体周围部分生长。

根据生长素和抑制素物质的基本原理，以及借助宏观控制对模型形成的调节，至少在原则上可以解释许多现象，例如斑马身上条纹的形成，茎秆的发芽（图 9·13），等等。然而毫无疑问，只要想到如心脏或眼睛等复杂器官的构造，就会认识到我们还只是处于漫长发展过程的开始阶段。

以上各例清楚地表明，大自然在含藏在 DNA 中的构造方案的基础上所进行的，要比人们原来设想的奥妙得多。它使得生长中的有机体的各部分彼此沟通和相互平衡。想来它至少在大







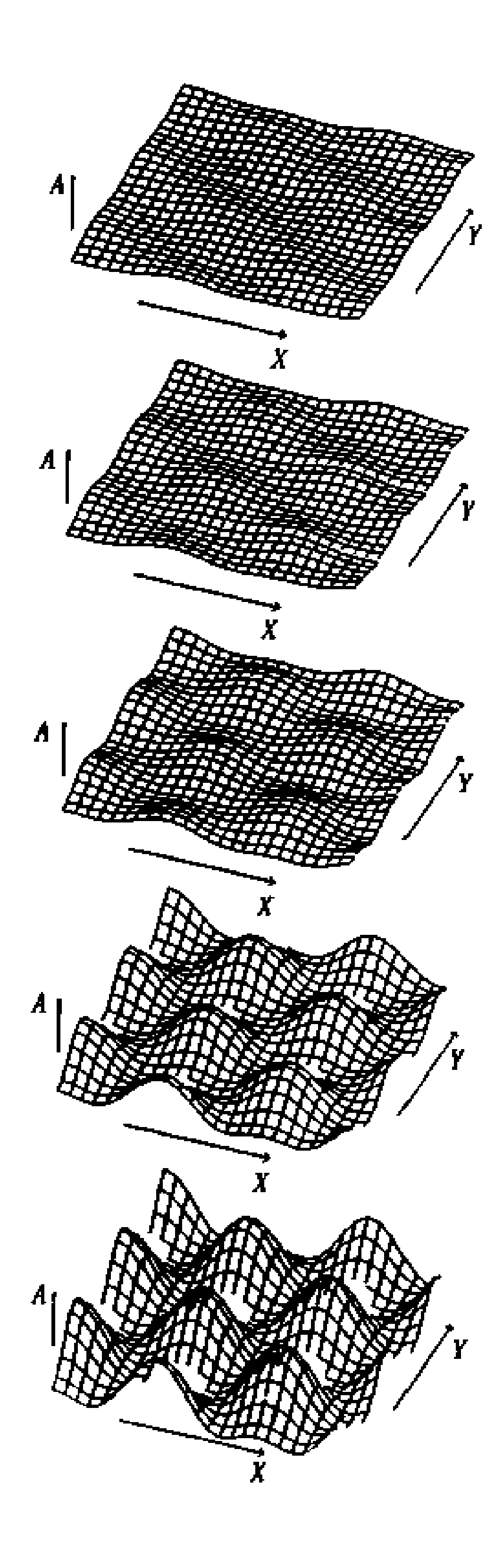



图 9·12 一种生长素在二维细胞群上的浓度。借助一种数学模型研究了生长素的浓度如何逐渐增加，并从而形成一种模型。

脑一部分的形成中用了这种巧计，对此我们将在第 14 章中加以讨论。在此，大脑的各部分决非像我们装配一台电子仪器那样，按照一个固定的构造方案组成。在建立感觉器官与大脑之间的神经通道时也包含自组织过程。从以下实验可以得到启发：割断蛙的眼睛与大脑之间的神经通道，然后又让它重新连接起来，这就使大脑的某一部分一下子把周围环境看成了颠倒的。然而短时间后，蛙又能重新正常看东西了，这可以从它的行为，例如它捕捉苍蝇的方式看出。这种连接的功能必然已发生了改变，以确保统一的"正确"的传输程式的重建。与此相关的基本问题是，眼睛的视觉细胞如何能在生长过程中就与大脑相应的神经细胞连接起来。对上面提到的实验较深入的讨论表明，眼睛与大脑的联系是自组织的。克里斯托夫·马尔斯布格的模型计算表明，这也受到竞争原理的控制，按照这个原理，系统中能正确地形成形象的小区得到加强，而产生错误形象的其他神经纤维受到压制。这里所谓"正确与错误"指的是，在眼睛的一个区域内对周围事物的形象是否在脑子中的相应的邻近区域内形成。因此，一方面是协作和共存，另一方面是竞争。这种现象决非只限于宏观动物世界，各种有机体的发展也总遵循着这个基本原理。

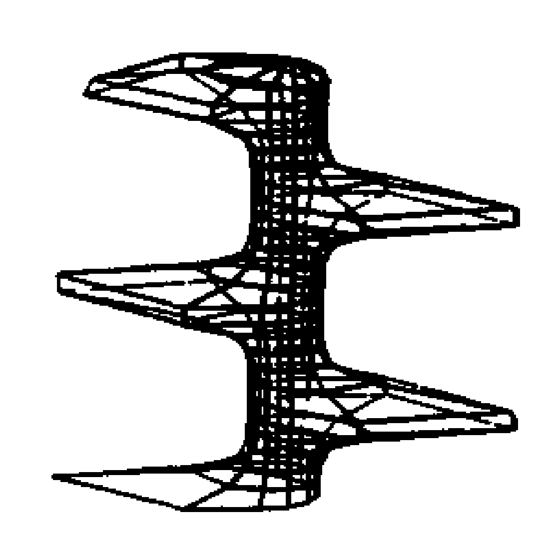


图 9·13　茎秆上发芽的数学模型一例。






# 10

# 矛盾往往不可避免

在我们物理学中所举的例子中，时常发现一种值得注意的情况：每当一种新的有序状态开始时，大自然听任该系统在几种可能性中选择其一。例如当底部加热的液体中出现一种对流型式时，滚卷顺时针或逆时针旋动有着同等的机会。如在本书前面已指出的，一个简单的力学模型就很容易让我们理解这种性态。

把一个球放在如图 10·1 所示的碗底中，球将从它所处的不稳定位置落入一个新的位置，但两个新位置出现的可能性完全是等价的。现有的对称性必然因球最终所取的位置而被打破。

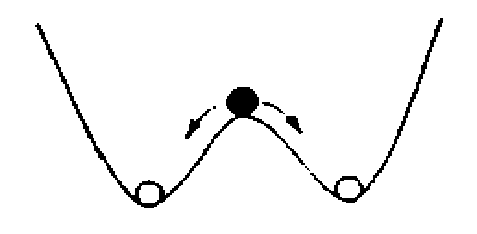


图 10·1　一个问题具有两个等价答案的为人所熟悉的模型。球滚向哪里?

关于确定球最终将处在哪个位置的问题，没有一定的解决办法，显然有两个完全等价的答案。这与我们通常的想法——每个问题只有一个明确的答案——相矛盾。

这类问题不限于力学或自然界中的简单过程，在我们自己身上能作的一个小实验马上可以证明这点。人脑无疑是大自然创造的最复





杂的系统。在这里我们也见到对称被打破的现象，例如在感觉中。请看图10·2，乍看起来似乎什么也看不出来。但如果要我们把白色的中央部分看成主体，那么我们将立即认出这是一只花瓶。可是，如果要我们把两个黑色部分看作主体，那么就会看见两张人脸。这个图的感觉内容是两歧的，而“花瓶”和“人脸”这两个感觉的地位不分上下。现在声名卓著的艺术家埃舍尔的大量图画就是以这种对称被打破为基础的。图10·3是他众多作品中的一例，我们或则把画面上的图形看成为天使，或则把它们视为魔鬼。这些图画表明，我们需要额外的信息来打破现存的感觉对称性，如“把白色部分看成主体”的这个信息。但即使没有额外的外部信息，我们也常能打破对称性。这是通过头脑中的一个变化过程而实现的，这种过程类似于物理学中，例如在流体中我们可称之为一个涨落的现象。突然间，一

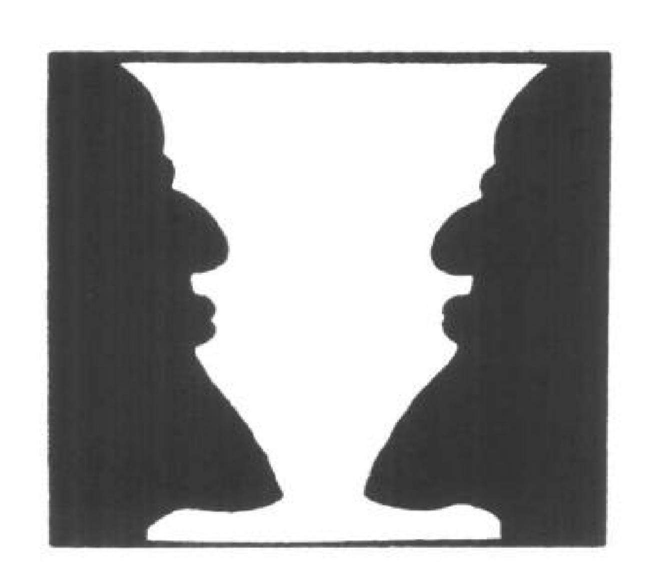


图10·2　花瓶还是人脸？

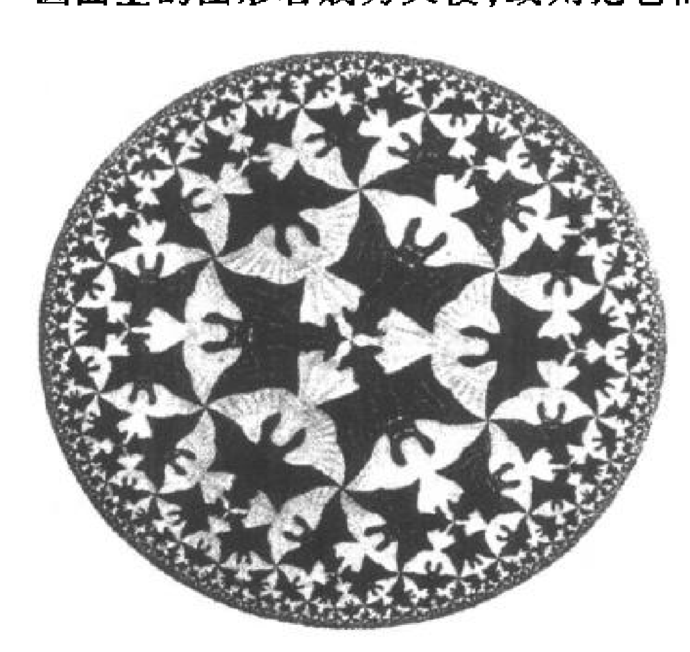


图10·3　天使还是魔鬼？





幅形象被感知到了，快得有如闪电。

## 测试你自己的心境

对称性在我们大脑中一开始就能以一个心理印记来打破。也就是说，我们怀着一种下意识的成见。许多心理测试就是以这个事实为基础的。

读者可自行测试自己对图 10·4 中所示人脸的反应。这两张脸是悲伤的还是欢乐的？在这两名妇女之间有没有什么联系？如果有，是什么性质的联系？请先仔细看这张图，然后再作出答案。事实上，图中两名妇女的表情故意被画成中性的，也就是既不悲伤也不欢乐。但在测试中，当人们需对此作出判断时，就必须打破这张图画的固有对称性。这种对称性的打破只能通过额外的信息来实现。这种额外信息由受试者按其当时所具心境提供。受试者把这额外信息投射到图中人物。根据这种测试，心理学家就可断定受试者的下意识心境。

这个过程也可以用另外的话来表述。我们从那些图中看出来的，正是我们内心已经具有的那种素质。我们听到的或以其他方式推导的常常正是我们所期待的。在某种意义上这甚至是必需的，因为感知意味着不断地把新经验与过去已经作为"经验"存储起来的东西联系起来。

我记得在学生时代的另一个试验；这个试验实际上是一个无法解决的任务。所说的是一名学生，他被要求抄写一篇课文，而且应在短时间内以上佳的书法完成这个任务。但这项任务故意安排成这样：如小心抄写，便来不及抄完和交卷；如能够抄完



图 10·4　在无表情的人脸或中性句子中投射出人们自己的心境。本图出自主题统觉①试验，1935 年由亨利·默里和他的助手们在哈佛大学医药临床心理研究所创制。类似于罗沙赫试验②，用这种投射性试验可以发现下意识的矛盾和思想。



却又不能把字写好。这是一种人们自然很想避免的典型的矛盾情况。但这种矛盾情况是特地设计的，其目的是迫使受试者为了解决这个任务而去运用这一任务中原已包含的对称性打破。心理学家希望，通过受试者所作出的决定，搞清他是马虎的还是认真的。当然，如果受试者事先就知道了心理学家的意图，并愚弄他，那么，这整个试验就将成为一场闹剧。

① 关于人在获得新感知时对旧感知的依赖的一种试验。——译者

② 由瑞士心理学家 H·罗沙赫（1884—1922 年）设计，要求受试者说明一些对称斑点图案意味着什么的一种试验。——译者





这类试验到处都有，例如在美国军队里。在物理学家中，早就流传着一位十分著名的美国物理学家的一件轶事：他即将应征入伍，需受一次心理测试。为了测验人们是否坦率，心理学家对应征者说：给我看你的手。如果他手心向上，那么心理学家就认为受试者性格坦率。如果他手背向上，那么心理学家认为受试者性格内向。而这位物理学家听到心理学家的指令后，却一只手手心向上，另一只手手背向上，心理学家吃了一惊。他喊道：看在老天爷的份上，请你把手翻过来。物理学家照做了，可仍然是一只手手心向上，另一只手相反。结论是此人不适宜服役。看样子心理学家自己现在应该向人求教了。

## 生活中充满矛盾

以上只谈及人为的矛盾，但生活中多的是天然的矛盾，举几个例子就足以说明了。一个青年想要上大学，他在两个完全不同的专业之间犹豫不决。两个专业各有利弊。

另一个例子说的是一个青年女郎，好像天缘巧合，她一连碰上了两个很好的男子。两个人都想娶她。她觉得两人对她都有魅力，都不舍得回绝。她在二者之间左右为难。最后，一名竞争者说的一句话打翻了天平。青年女郎终于自愿委身于他。用协同学的话来讲，一个"涨落"——一句话就分出了高低。

在心理学领域中，以下情况更为常见。一个鳏夫难耐寂寞而打算再娶。他的急于寻偶得到酬报。时隔不久就相继认识了两位妇女，她们都不嫌下嫁于他。但他开始踌躇，该与谁结婚？在与朋友们的多次讨论中，他开始权衡两位妇女的优缺点，但他




却越来越深地陷入矛盾之中，始终打不定主意，因为二者的优缺点旗鼓相当。这是妨碍作出决定的一个典型的心理矛盾的例子。他一直犹豫不决，直到两位妇女都不再有意于他。

这种心理过程可以清楚地用图10·5所示的一只碗中的球的力学模型比较形象地表示出来。但假定球是钢制的，而碗却是用较软材料做的。球在其中央"犹豫不决地"停留越久，它在碗中就陷得越深，直到最后在它自己造成的凹坑中不能自拔。在心理上当然可能有这样的情况，迟迟不作决定者可能在下意识中并不打算结婚，想避开矛盾，终于像球一样陷入一个不可逆转的位置中。

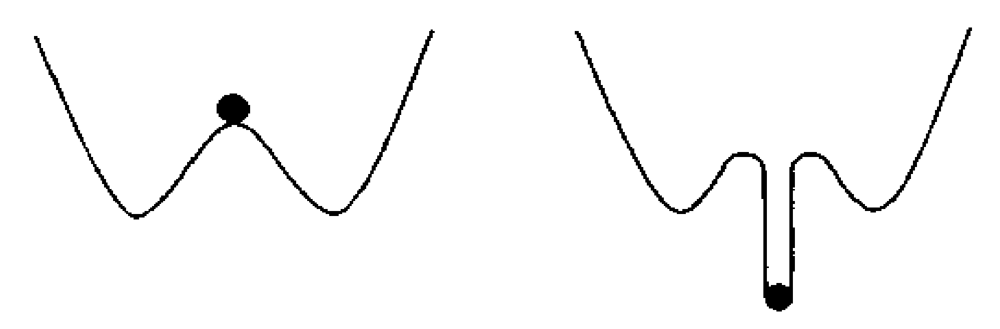


图10·5　形象化地表示考虑过多的后果。球压出一个深坑并再也无从自拔。

当一个人受到严重威胁时这种优柔寡断可能是毁灭性的，对此布鲁诺·贝特尔海姆在他所著的《求生教育》(斯图加特，德意志出版社，1980年)中举出十分明确的例子：被追缉者一直犹豫着，他该躲避当局呢，还是该冒险逃脱它的魔爪。

这些例子是典型的矛盾情况。最初两种解决办法似乎是等价的。然后我们开始反复思考，寻找较高层次的帮助，以作出旨在(用协同学的语言来说)打破对称的决定。现在我们面临来自协同学精义的重要认识：在很多情况下根本不存在有助于作出决定的更高层次的帮助。事实上，即使经过旷日持久的考虑，我





们也不可能一劳永逸地解决矛盾。再则，我生有涯，苦无足够的时间来作出决定。据此只得承认一个结论：必须认识到，确实存在着具有两个或更多的基本上等价答案的问题。这些答案是否基本上等价，我们常常无从决定。于是我们必须在经过一定时间的反复考虑，平衡各方之后，确认我们所面对的是一种真正的矛盾，对此两个答案真正是完全等价的。然而在这种情况下，两种选择也同样是等价的。进一步的论断是：一旦作出选择，毋需后悔。必须记住，经过全盘考虑后我们所选择的是两个等价的答案之一，不应忘记，另一个答案也会有它的缺点。

## 在社会领域中矛盾的转移

特别在社会领域中，存在着一些具有两个等价的答案，或更确切些说，两条出路的矛盾，在那里共同的行动使个人摆脱矛盾，并非消除它们，而只是移置它们。这里是几个本身似乎无足轻重的例子，但它们可以与引起剧烈冲突的问题相比拟。一个孩子生下了，他自然得有一个姓，在许多国家中，习惯乃至法律上规定孩子应从父姓。但孩子同样可以从母姓。如果没有法律的规定，每对夫妻就将面临如下矛盾："孩子该从父姓还是该从母姓?"毫无疑问，对所有夫妻来说，这是一种潜在的矛盾，没有法律规定时需由夫妻双方协商决定。

在婚姻中也有同样情况，夫妻俩该用夫姓还是该用妻姓?有些夫妇选择双姓：米勒-迈埃尔。不难明白，如此再过十代，他们的姓得由一千多个姓组成。简直胡闹。这将使原来的折衷办法成为毫无意义的荒唐事。





事实上只剩下两种可能性：不是分别用夫姓和从父姓，就是分别用妻姓和从母姓。早期人类社会显然已认识到这个问题，而集体通过传统或立法打破了这种对称性。法律在孩子取姓上支配着夫妇们，从而起到序参数的作用。至少在民主国家里，法律是由人民的代表颁布的，即序参数是由许多个体确定的。我们又一次认识到在协同学中的序参数与个人之间的典型关系。另一种可能性是不存在序参数。在目前的情况下，法律听任父母决定孩子跟从谁的姓，因而把责任推卸给父母。由此得出结论：较多的个人自由同时意味着可能出现较多的人际矛盾。

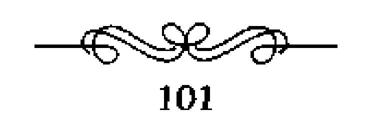
另一个矛盾的例子是关于父母的权利问题。法院在孩子的教育问题上是倾向于支持父亲还是母亲。在离婚案件中这问题表现得特别明显，法官一般把年幼的孩子判给母亲监护，于是对称性在此又受到集体的打破。事实上，也可以把孩子的监护权判给父亲。因此在这一案例中，对称性要由法官来打破。由于缺乏所需的法律，打破对称性的任意决断就转移到另一个决策团体。还有一个例子也许能把这类问题讲得更清楚些：一对男女是通过正式结婚共同生活好，还是通过类似于婚姻的情人关系同居好？如同典型的矛盾那样，这里又是一种答案与另一种答案相比各有利弊的情况。在大量的优缺点对比中，结婚的缺点是受约束，但从而也就有了配偶之间彼此照顾的可能性；非婚结合的优点是自由，但当然也就没有对另一方照顾的义务。必须充分认识到，这两种优点不能兼而有之。非婚姻关系的破裂，常常导致很多经济上的争执，如两人出钱合购过一套住宅或公寓。这种争执只能留给政府部门来裁定。试图把矛盾转移给集体，而集体，即当局，常不具备对这类裁决的明文规定，因为婚姻制度本来就是用以处理这类问题的。

所有这些例子(还可以随便举出许多)表明，在政治生活中

矛盾经常由个人转移到集体，或由集体转移到个人。这种个人与集体之间的相互关系，对于个人的结果是，通过集体的影响，例如法律，可使个人避免作出可能会产生矛盾的决定。反过来，若个人具有较大的作出决定的自由，那么对个人意味着可能产生更多的矛盾。

我们刚才所说的集体影响，并不只限于婚姻事务。它也对立法措施尚未生效时的整个社区或城市产生影响。

在若干不同地方生活过较长一段时间的人们，马上可以发觉，各地的人际关系气氛是各不相同的。在某些城市中，人们很友好，而在另一些城市中，居民之间和对外来人都非常粗暴。个人对“友好”或“不友好”态度之间所作的选择，显然是一种集体造成的对称打破。某地一旦形成了一种普遍的气氛，那么这个地方的新来者就无法反其道而行之，经过一段时间之后，他的行为与当地人相比常常不相上下。如果他在一个不友好的地方竭力与他人友好相处，那么他将遭到白眼，也许自己也会变得粗暴起来。相反，如果一个不友好的人来到一个友好的地方，那么他很可能受到当地居民普遍的友好气氛的感染。同样的现象，我们不仅在城市里看到，而且会在办公室里或在管理部门中见到——有时给我们的印象更深。在这里，对新来者说是束手无策的局部气候，可能大不相同。



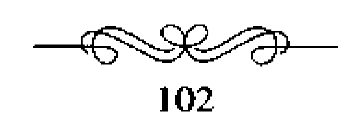


# 11

# 混沌、偶然和机械论世界观

## 预定还是偶然?

很少有哲学家,更不用说自然科学家,会否认物理学以及一般自然科学的知识对人们世界观的形成起着很大的作用。我们的整个思想都受到科学革命的深刻影响,它真正动摇了物理学的基础。仅仅通过物理学的定律以及对它们的无数次验证,我们对自然过程是按照一种永恒的规律进行的信念已经得到了加强。上世纪盛极一时的力学,曾对此作出重要的贡献。力学研究了各个物体如何根据它们之间的作用力而运动。牛顿的基本认识是,苹果从树上落下受着支配地球和其他行星绕太阳运行的同样规律的支配。例如,牛顿定律是全部火箭技术的基础,也是人类征服宇宙空间的基础。我们在电视屏幕上可以看到,火箭射向月球,精确地遵循预先计算好的轨道。然而,运行轨道可以事先一次算出并从而可以预测,却令人有点心寒,甚至有点压抑之感。因为,如果各种事件都按预定的程序发生,那么我们不过是一个巨大的齿轮机的一部分,不言而





喻只能无可奈何地听任它的摆布而已。偶然性无从存在，一切都是预定的。这种世界观的深远的哲学和宗教的后果是人们经常讨论的题目，其后果是不难想象的。但在本世纪二十年代，量子理论是一个意料不到的转折点，偶然性卷土重来。为此可再次简略地回顾一下在普通灯和激光器中发生的情况。激发原子中的一个电子，使它得到比通常为多的能量，这个电子往往以发射光波的形式释放出能量。然而量子理论表明，根本不可能精确地预测电子何时辐射它的能量。这就像掷骰子游戏一样，无法预测掷出来的是什么点子。

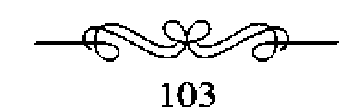
根据我们现今对微观世界中的变化过程，即对不可见的原子世界的所知，这些过程都受偶然性即随机事件的支配。任何恢复机械论世界观地位的企图业已失败。这些企图都与实验的证明大相径庭。偶然性即不可预测性，这与一次定终身地预定事情的全部过程的想法是背道而驰的。



## 既前定亦偶然！

近年来，越来越清楚的是，在自然界的许多方面存在着具有某种两重性的现象，这使许多科学家大感意外。这些现象，例如运动过程一方面遵循与力学同样严格的规律，或者它们本身就是力学规律。另一方面，这些现象本身又有某种偶然的和不可预测的性质。这种现在刚开始进入科学家的一般认识中的全新类型的现象，被称为“混沌”。

“混沌”这个词在日常语言中是常用的。我们只要想到大家都熟悉的交通混乱，挤成一堆、动弹不了的车辆。这个例子已向





我们表明混沌这个词用在科学上的特点。每一辆车都按严格的力学定律在车流中据有其本身的一席之地。尽管如此，在旁观者心目中仍会出现交通堵塞——混沌——混乱不堪，每辆车的位置似乎是随意分布的那幅图景。一辆载重汽车靠近一辆蓝色小轿车，前面横着一辆红色小轿车，后面是一辆摩托车，如此等等。它与自然过程中的混沌的唯一差别只在于，形象地说，所有车辆在交通混乱中都在移动并不断改变它们所占据的位置。混沌一开始被认为是一种荒唐和孤立的情况，现在看来，它是我们在协同学中研究的许多系统的典型行为模式。不妨再回顾一下前面已碰到过的几个例子。

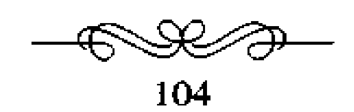
取决于我们从底部对一个水平层加热程度的不同，当流体运动时便产生大不相同的运动模式。经过了几个如滚卷或蜂窝状的均匀运动的阶段后，流体开始以一种完全不规则的方式运动，成了专家所说的“湍流”。我们现在已有理由认为，这种混乱和完全随意的运动遵循着混沌运动的规律①。

观察抽烟者吐出的烟圈，可以看到类似的现象。开始时烟圈变形而最后出现完全不规则的烟雾运动。它变成了湍流。某些化学反应产生了空间或时间上的宏观模式，诸如在别洛索夫-沙包廷斯基反应中出现的由蓝到红的周期性变化等。

化学家以前就观察到由红到蓝交替改变的完全不规则的变化过程。但他们当时认为，大概是混合物制配得不得法，因而没有发表他的研究成果。现在，当“混沌”现象得到普遍承认之后，化学家们就争相发现和发表这些反应的不规则时间序列和空间模型的新成果。有人甚至预言，激光也可能是湍流性的，即完全不规则地发射的波列，而它的特性不同于普通灯的光线。一种



① 参看(第4章)。——译者





全新类型的光正在等待发现。

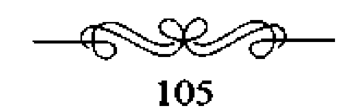
在生物学中，混浊的思想也正开始被接受，并有助于理解以前完全无法理解的现象，例如某种昆虫的个体数目完全无规律地年复一年的涨落。现在已有了可用来解释这种涨落的数学模型。

所有这些被大多数人看成是崭新的现象，却已由《旧约·传道书》中以“日光之下并无新事”这句话对科学家道破。

事实上，早在世纪转换之际，法国数学家朱尔·亨利·庞加莱(1854—1912年)就已在完全不同的领域——即天体力学——中发现了混沌运动的可能性。如果我们研究有两个太阳而只有一个行星这样一个太阳系模型，则这个行星的运动可以复杂到难以想象的地步，简直就像一只被随意踢来踢去的足球。这里科学明显地陷入了困境：行星的运动总是遵循力学的严格规律的，而它的运动却显得是纯粹随意性的。

这个例子表明，在一个非常简单的力学系统中就可能出现极其复杂的运动。根据牛顿力学，我们本来理所当然地认为，在我们的太阳系中，行星将在椭圆轨道上万古不变地绕着太阳运行。可是力学的现代发展表明，行星轨道的这种稳定性却是一个难解之谜。最伟大的学者们都研究过这个问题，以期对上世纪瑞典国王悬赏的问题找到答案：“我们的太阳系是稳定的，还是有可能出现例如这样的情况：几颗行星最终向太阳坠落，而其他一些则为太阳所驱走？”所有这些过程都是与力学的能量和动量原则相符的。

今天，数学家对这个问题作出的回答十分微妙，并且与行星运行的细节联系得如此紧密，以致有时很难令人相信所找到的答案是最终的答案。不过，如果他们的理论是正确的，那就应该能够阐明土星光环的结构(图11·1)。被认为是由小冰块构成



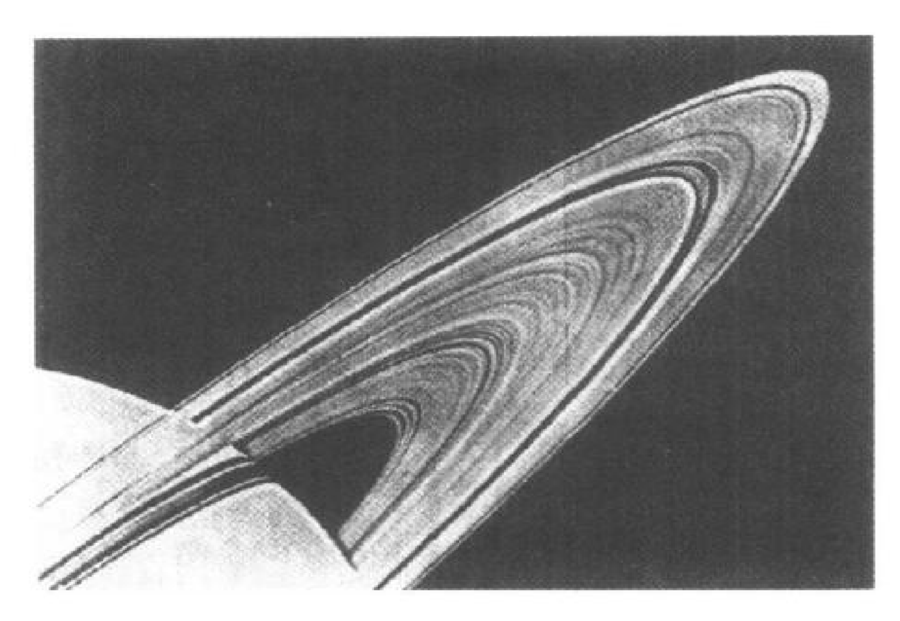



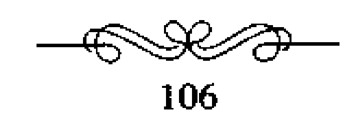
图 11·1　土星光环

的土星光环，从望远镜中看出去是一种具有若干同心环的结构。问题在于，为什么环与环之间存在着空隙呢？

为什么空隙中没有冰块呢？研究天体运动的数学家们的解释是：由于土星的卫星的影响，原来位于这些区域中的冰块被迫进入混沌轨道，因此必须离开这些区域，从而造成空隙。至于这是否就是最终答案，还要拭目以待。美国空间探测器拍摄的靠近照片为我们揭示了更多也更精细的结构。土星光环就像一张有槽纹的唱片，有些像轮辐的东西存在于迄今被认为是空无一物的空隙中。这又是一个未解之谜。

对于为什么能产生混沌的、随意的运动这个问题的明确答案，只有在数学框架内才可能找到，而数学也只刚开始了解混沌。

可是我们仍不难想象为什么偶然性可以偷偷进入严格预定的运动之中。





# 吃角子老虎[①]:计划好的混沌

设想把一个尖锐的棱边,例如剃刀片,竖起来放,让钢球从上向它落下(图11·2)。钢球究竟偏向剃刀片的哪一边落下,取决于剃刀片接触钢球位置的1毫米的百分之一之差。稍稍偏左一点点,球就会偏向左面,反之则偏向右面。显然这整个过程是严格地预定的,但其中仍带有某种偶然性。原因在于,我们在原则上不能完全确知或测定钢球的初始位置。然而球的初始位置的一个极小偏差,将导致完全不同的途径。掷骰子的情况完全相同。骰子一般先以它的一边触及桌面,此后情况如何,同样取决于初始条件,正如钢球落向剃刀片一样。

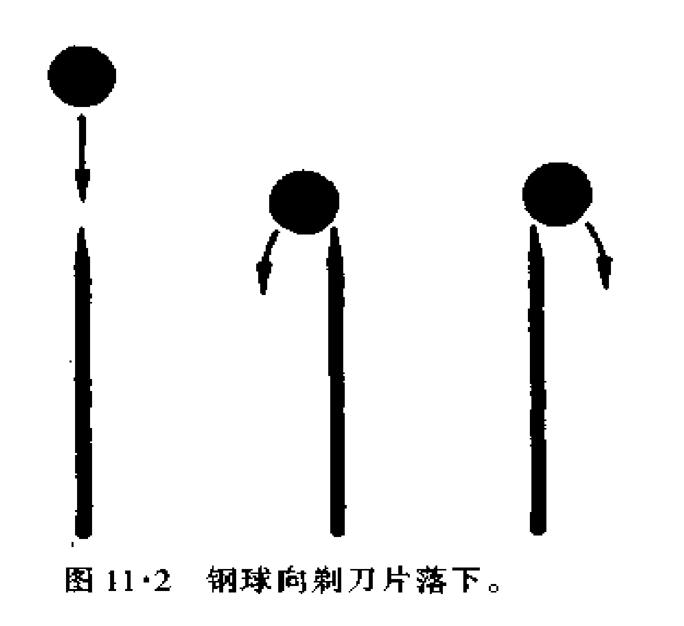
我们现在可以明白,偶然事件与严格确定事件之间的界限并不那么分明,虽然这两种限定的情况在哲学意义上可以严格地确定,并且"现实中"只应有两种情况。有决定意义之点是,初始条件的微小不精确性,将对事情的进程产生宏观影响。

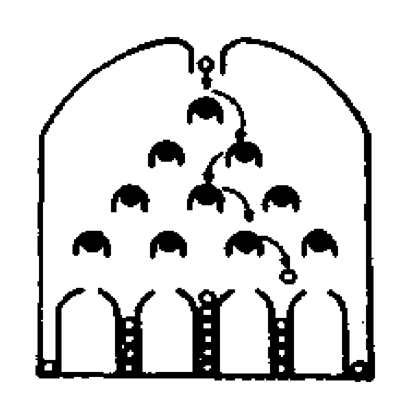
有时实际动手者、发明家和爱好拨弄机械的人要比最有学问的科学家来得聪明,吃角子老虎机制造业已存在很久,这种自动机的原理在于,严格规定的机械运动也能惊人地模仿偶然性。这种机器,例如,使球落在各个边上。在每一次游戏中,游戏者都无从预知球的路径,游戏的结局也确实是碰碰运气的事情。然而球走的每一步都是按照预定的方式进行的,图11·3是这种



---

① Glückspielautomaten,是首创于英国的一种投入硬币进行赌博的游戏机,俗称"吃角子老虎"。——译者


图 11·2　钢球向剃刀片落下。

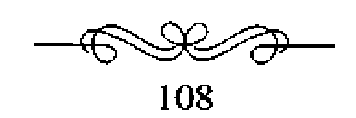

图 11·3　吃角子老虎机简图。球将落在哪里?

为人熟知的吃角子老虎自动机的一例。

## 北方并不总是北方

科学幻想小说有时描写被置身于未来或过去时期中的人们的遭遇。假设一位科学幻想小说作家把某一个人,让他带了最少的生活必需品,放在一部时间机器中,回到十万年以前的时期。那个人现在必须借助于一个罗盘来找到自己的方位。他因为感到很冷,就打算按照罗盘的指示走向南方。但他越走越冷,终于明白自己是在朝北走,而不是朝南走。他的罗盘指错了方向。由于罗盘指示的是地磁场的方向,我们不得不作出这样的结论:地磁场的位置已经改变了。

我们当然不可能用时间机器把人送回到过去,但大自然却能用另一种方式做到这一点。在格陵兰找到了一些有磁性的地

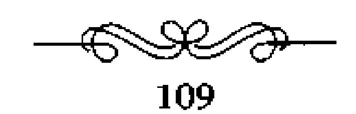



质构造。在不同的岩层中,岩石的磁体按当时的地磁场排列,并且以后在一定程度上被“冻结”住了。也就是说,它们一直保持着这样的排列。地质分层也为各层的年代提供了一条线索。由于各层的磁化强度不同,地质学家由此知道在过去几百万年中,地球磁场的方向已改变了多少次,但每次间隔的时间却显得是毫无规律的。地磁场必然以混沌的方式改变它的极性,这一点已为最新的理论所证实。

## 协同学中的混沌:自相矛盾吗?

读到这里,有的读者会问,这种混沌过程与协同学有什么关系?协同学无非是一种在一个系统各部分之间协作的理论。然而,就一个行星在有两个太阳的系统中的运动而言,只存在三个有关的物体。此外,在本书的开头似乎说过,许多单个系统的协同作用总产生有序的结构或反应。我们下面还要对这两个问题进行更详细的讨论,希望也能对其他领域,例如经济领域中的变化过程得出结论。为了说清这些问题,我们必须采用稍微抽象的方法,因此,对此兴趣不大的读者可以就读到本章此处为止。

当我们回忆序参数这个概念时,混沌与协同学之间的关系就会变得一清二楚。在一系列例子中我们看到,有时协同学系统可能不只受一个,而是受几个序参数的控制。例如在构成液体的蜂窝状结构中有三个序参数起着协同的作用。这三个序参数是组成等边三角形的波。在另一些情况下,例如在生物进化中,不同的序参数则相互竞争。因而,协同学系统的宏观性质常常通过序参数之间的协同或竞争反映出来。





如果协同学的问题用数学公式来表示，那么，即使系统完全不同，但对序参数来说，方程却常常是相同的。现已发现对序参数的某些方程也可以包含混沌过程。再次以底部加热的液体为例：在一个混沌运动阶段有三个序参数处于交互关系中，从而使系统徘徊于不同的运动状态之间。

在我们进行过的一个较精确的研究中，把各序参数之间的交互关系描述如下：在一段时间内，一个序参数占主导地位，支配另外两个，规定它们的运动。但不久后，这个序参数失去其主导地位，把这地位让给另一个序参数，并依此重演。有趣的是这种"主导地位的改变"是完全无规律的，也就是混沌的。

天体运动也属于这一类，其中重心的坐标就是序参数。

我们现在知道，应该预期在序参数之间的很多交互关系中存在混沌的运动，并应把过去被解释为测量误差或根据当时的理论考虑而忿然排斥的许多事例作为混沌来接受。例如，经济生活中的事件，或行政干预作用，诸如对大学中科研和教学的布局和发展这种本质上是自组织事件的干预。



## 天气是否可以预报，气象报告员是否总留着一扇小小的后门？

周末晚上，我们有时坐在电视机前，根据第二天为晴天的天气预报而安排了星期日的出游计划，却不料翌日大雨滂沱，于是痛感失望。

为了改善天气预报，不仅气象学家，而且还有物理学家和数学家也都做了长期的工作。出生于匈牙利而后来居住在美国的约翰·

冯·诺伊曼(1903—1957年)是一位真正的数学天才,他提出了现代电子计算机的基本原理,根据这些原理,在诺伊曼的大力协作下,美国在四十年代制成了第一台电子计算机。这位数学家立即认识到计算机的巨大技术潜力,特别是能处理大量数据。因此,他倡议建立一个密布于全球的气象观察站的网络,以便收集气压、温度、风速、湿度等的测量数据,并把这些数据输送给一台中央气象计算机。因为大气与液体的性态无异,应该可能根据液体运动的基本方程对气团的运动、湿度,乃至对天气作出精确的预测。我们已根据云街与液体滚卷的类比,指出空气与液体运动的相似性。虽然观察站的网络越来越密,天气预报却并没有多少改进。

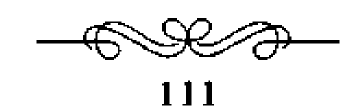
六十年代,美国气象学家洛伦茨对流体运动的基本方程作了严密的研究。他根据计算机的计算结果,发现这些方程也预示,像我们今天所说,完全混沌地进行运动的形式。然而什么是混沌?回忆一下上章所讲的要义:每当初始值稍有改变(例如气团的初速度),运动的进程将完全不同时,这个过程就是混沌的。但是,我们不可能绝对精确地测出气体的运动,因此,即使小小的测量误差,也可能导致几天内,也许甚至是几小时内的天气预报的巨大误差。

看来,气象报告员确以这种方式为自己留下一扇使我们一再感到意外的后门。



## 等离子体可以制服吗?
## 核聚变中也有混沌吗?

古希腊人说有四种聚集状态:地、水、风、火。我们对其中三



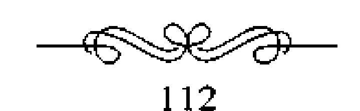


种都很熟悉。用近代语言来讲，它们被称为固体、液体和气体。但是物理学家确实发现了另一种聚集状态，那就是等离子体。

如我们已知，不同聚集状态的微观差别只在于组成它的分子间的排列不同。当物质处于气态时，分子自由飞行，只是偶尔相撞。如果持续加热气体，分子的运动就越来越剧烈，从而被分裂成它的原来的组成部分——原子。我们知道，原子由一个带正电荷的原子核和一系列带负电荷的电子构成，这些电子环绕原子核旋转。当温度很高，例如达到几百万度时，电子也处于极其剧烈的运动中，以致脱离了带正电荷的原子核。物理学家把原子核与电子相互分离的气体称为等离子体。这种状态在自然界中并不少见。例如我们的太阳就是一个等离子体，因为它的内部温度高达几亿度。在这样高的温度下，各原子核以极大的力量相互碰撞，从而会出现两个较小的原子核聚合成一个新原子核的情况。

早在三十年代，汉斯·阿尔布雷希特·贝特和卡尔-弗里德里希·冯·魏茨泽克就已提出了一种构想，可使原子核之间相互反应，最终四个氢原子核合成为一个新的核，即氦核。正如在化学中原子结合为分子而释放出能量，而在物理学中它以热运动的形式出现那样，当原子核释放出极其巨大的能量时会形成聚变。人们不禁要说，太阳把这些反应所产生的能量浪费掉了，因为它把能量向太空辐射而只有很小一部分到达地球的表面。然而就是这样微小的一部分就足以满足本书中所讲到的所有生命过程的能量需要了。

地球上的能源，如石油、原煤以及可得到的核能，可惜在不太久的将来就将消耗殆尽，人们将被迫去寻找新的能源。还有什么比试图在地球上的实验室里照搬太阳中的反应过程，从而在地球上造起一个供给能源的小太阳那样更令人注目的呢？因

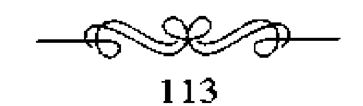




此在地球上制造等离子体，并通过它来造成核聚变，就大有吸引力了。

等离子体的产生其实并不那么困难。例如电焊时观察到的光弧，强电流就在电极之间的空气间隙中造成了一种等离子体。我们可以用多种办法来产生高温。可惜的是核聚变的实现还是困难重重，问题在于：即使温度非常高，各个原子核之间相互碰撞的机会仍然极少。原子必须跑许多公里，才能找到一个可以与之聚合的伙伴。因此等离子体必须达到几十公里的量级，核聚变才能发生。此外，等离子体中的各个粒子自然会很快飞散。可惜无法把等离子体禁锢在一个容器里。等离子体的组成部分，即电子和原子核，在高温下所达到的极快的速度，会立即穿透容器壁。但是物理学家们想到一种办法，既可以防止这种飞散，同时又能够诱导各个粒子不断地相互碰撞，这就是在等离子体周围建立巨大的磁场，因为物理学家知道，带电粒子在磁场中总是不断被偏转，从而被迫在一个圆形轨道上运行。这样一来，就把它们限制在一个较小的空间范围内（直径还可能有好多米），并给它们以找到伙伴的机会。等离子体装置中最有前途的类型称为托卡马克（Tokamak）（图 11·4）。这个词来自俄语。托卡（toka）的意思是“流量”，而马克（mak）是 maximum（最大）这个词的缩写。这个装置就用以产生最大的粒子流量。

这就把我们带进了现在探讨的中心问题。等离子体是研究工作者探索不稳定性的一个乐园。正如我们在本书中多次看到的，不稳定性改变宏观运动。等离子体物理学家们已发现了一百多种不同类型的不稳定性。例如，波突然在等离子体中扩展，以及在等离子体中出现全新的流动模式等。我们曾计算过这样一个模式，因为它十分美观，我们把计算结果画在图 11·5 中并作了说明。在另一种不稳定性下，等离子流在较短的时间以后





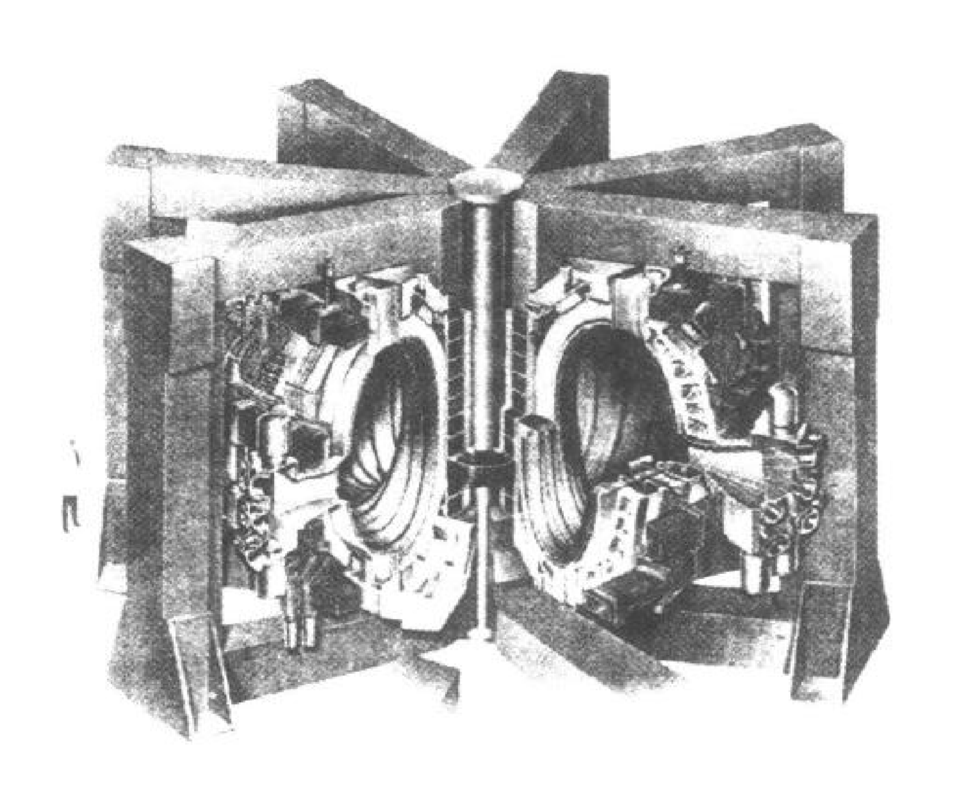


图 11·4 巨大的托卡马克装置(它的大小可通过与站在左面的人相比较而看出)。

就完全瓦解了。各种各样新波和流动模式等是如此不同,以致等离子体物理学家有时试图把它们与生命过程联系过来。但那些试图把核聚变付诸实用的等离子体物理学家,对大多数不稳定性并不感到高兴。因为一个过程,从一种不稳定性跳进另一种不稳定性,或者各种摆动由于相互影响而不断增加,那就不可能有规律地把等离子体导入,例如,一个环形轨道。这里出现了一种现象,也就是上面讲过的混沌,它只是现在才成了等离子体物理学的主要内容。我们在本书中已列举了很多例子说明出现完全无规律的运动的可能性。看来也可以期望这种无规律运动会在等离子体中出现。这就要求我们更好地理解混沌运动的性质,以便能在技术上掌握混沌。我毫不怀疑,总有一天我们将获得成功。但肯定还得做很多的研究工作。在协同学的意义上,

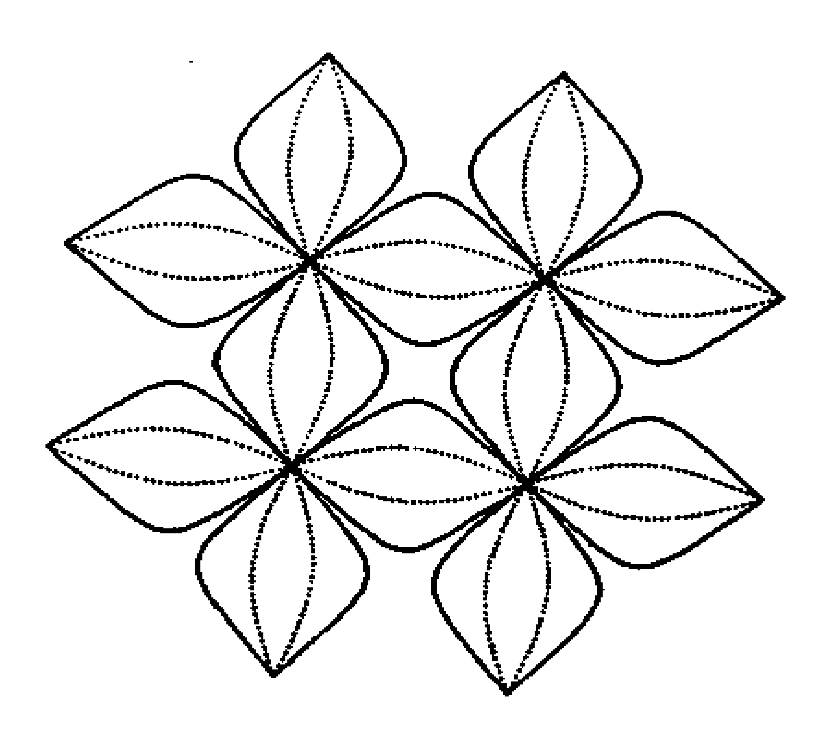
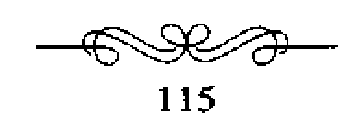


图 11·5　从底部加热处于垂直磁场的等离子体所产生的流动模式。图中画的是速度场的等值线。



不同学科之间大有可以相互借鉴之处，因为混沌（在科学意义上）是一种有明确解释的现象。





# 12 经济中的协同效应

上面各章讨论了自然科学领域中的一些变化过程，它们甚至也能在数学上予以解释。本章和下一章将转而讨论那些涉及人际关系的问题。这里立即会遇到这样的问题：是否由于人是非常复杂的生物，以致任何建立一种可预测的理论的企图都是事先注定要失败的。不过在经济学中，我们讨论的多半不是**个体**的行为，而是**整个集团**的行为。我们将在下面论证并解释的协同学论题正好认为，对整个集团的行为是可能作出预测的。问题在于，我们能否根据一般规律来描述经济领域或社会领域中**整个集团**的行为。经济学或社会学的存在的事实本身就表明，人们确实试图在对这些规律进行科学的探索。但我们必须从一开始就清楚地认识到，由于问题的错综复杂，存在着几种不同的思想体系。特别重要的是以下两种：第一种试图根据各个体的行为来理解全貌，其中心理学因素起着很大的作用。另一种则从系统本身的观点出发来处理经济的或社会的过程，为此必须首先弄清，我们这里所说的"系统"是什么意思。

为了解释清楚协同学在此采取的观点，先来看看经济中几个具体的例子。

整个商业活动是建立在存在着规律性的常常心照不宣的假





定上的。每个商人都必须预先作出计划，有时甚至是长期计划，因此他们必须能预料顾客的行为。让我们举一个极端的例子。一个出售结婚礼服的店主很少能知道，某一对男女何时结为伉俪。然而他却能很准确地预测需求，因为这里涉及的并不是一对男女的行为，而是许多对男女的行为。凭经验就可以知道，每年平均有多少对男女结婚。他甚至也可凭经验把季节性的波动考虑进去而作出十分精细的计划。

银行为储户准备现金的情况也与此相同。银行也不知道某个储户何时来银行需要借或提取多少钱。尽管如此，银行却能准备好足够的现金。然而银行必须有不储备过多现金的本领，否则就意味着长期投资的损失。

这两个例子清楚地表明，我们从经验中知道：存在着支配众多人行为的普遍规律。在协同学的意义上，重要的是区分正常行为与反常行为。正常行为指人们独立地行事，也就是事前人们并未约定，例如，下周都到某一面包房去买面包，等等。对独立行事起作用的是大数定律，它是由天才的数学家卡尔·弗里德里希·高斯（1777—1855年）在上个世纪提出的。据此不仅可预见应库存多少商品，亦能料到预期的销售波动。

集体行为的情况就完全不同了。这正是协同学的研究内容。我们所说的集体行为是指人们的那些似乎是相互约定的行动。当然并不需要每个人与另外所有的人交谈，甚至也不需要听取别人所讲的话。

如同在激光、液体或以上各章中所讨论的其他例子中一样，这里的情况是个体被迫按照某个新的有序态行事。尤为明显的例子是经济灾难，诸如行情暴跌时大量抛售股票（这样自然只会更促进股票价的暴跌），以及通货膨胀时抢购黄金，等等。下面还将相当详细地讨论不那么明显，但也许是更重要更典型的情



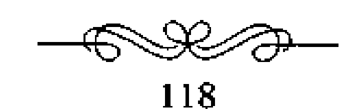


况。记住了自然科学中的一些例子，我们将容易辨识这里所讲的要点。我们已经知道，外部条件的改变将使系统的某种确定的状态变得不稳定，并且能够为一种新的，有时甚至完全不同的状态所代替。系统（如流体）的不同部分，将被迫进入新的状态。它们将受到序参数的支配。

协同学已经成功地以出人意料的方式推广了大数定律，因为它即使当各个体不再独立地，而是以协作的方式行事时，也能建立规律性。高度复杂的经济生活提供了大量协同效应的例子。这里，我们打算举诸如商人做生意等几个典型例子。

## 两个卖冰淇淋小贩在海滩上做生意，怎么做？

我们的一位客座教授——蒂姆·波斯顿提供了一个有趣的例子，它讲的是海滩上的两个卖冰淇淋的小贩怎样做买卖。人们也许会简单地认为，最好的办法是把海滩分成两半，然后把摊设在每一部分的中间。但这种状态不会是无条件地稳定的。其中一个小贩可能想多做些生意，就稍向中间移动一点，以便招揽一些原先可能光顾另一个小贩的买主。对此，另一个将作出反应，也向中间移动一点。这种情况反复进行多次，直到两个小贩在中间碰头，抢着做生意为止。当波斯顿向我讲述这些时，我们觉得最终两人的赢利都会比以前减少，因为，例如，海滩边的买主懒得跑那么远的路。换句话说，两个冰淇淋小贩的相互行为，也就是两人彼此所作出的反应，使得他们落人最后他们的赢利





比起他们各守原位时要少的境地。这类例子在社会经济中其实颇为常见,我们马上要回到这个问题上来。

当我对这个例子再稍加思考以后,便开始怀疑冰淇淋小贩是否会由于他们的做法而赚得越来越少。我想起多次讲学旅行时的见闻。为了在一个陌生的城市寻找某一个商铺或饭店,我常常得长时间往返奔波,不料最终发现,在某一城市中的某一地区两家饭店比肩而立,或者两家商店对面相向而出售同样的货物。这与认为各个商店总应与其同行隔离得越远越好的通常想法相矛盾。据此我假设,商业区的规模对商人的行为起着重要的作用,或者换句话说,重要的是要知道顾客流动的程度。顾客们有多少时间和兴趣来走一定的距离。我的假设确实证明,如果顾客只愿走很短的路,商店均匀分布在一个区域中是非常明智的。但如果顾客不在乎多走一点路,那么许多商店聚集在某一地区仍然较好。这些商店将以一种集体的方式对顾客产生较大的吸引力。它们从而能提供一个较好的挑选机会,并以集体的力量排挤掉孤立的商店。结果,许多乍看起来会相互竞争的同类商店将集中在某一地段。我认识一些店主,他们把自己的较小商店开设在一个繁华的购物中心附近,因为他们知道,这样一来,趋向他们商店的顾客流量也会大些。同类商店的聚集显然早已有之,这从街名就可以看出,例如伦敦的贝克街(Baker-street,意为面包师街)等。



## 为什么城市越来越大?

我们已经看到,商店常常聚集在一起。类似的机制不但在



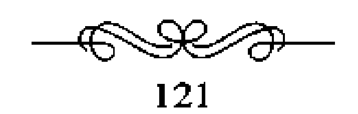


这里起着决定性作用，而且人们的聚居一般也是如此。只有当一个居民点的大小达到一定程度时，某些社会设施，如学校、教堂、医院、法院、剧院和行政机关等才有其必要性和可能性。居民点的大小与这种新设施的出现多数是互为条件的。当人际交往增多，以及，例如，对文化生活或经济联系方面的要求提高时，人们对居住在能提供这些便利的居民点的愿望也将会增强。同时这样的居民点也将提供较好的挣钱机会，或在贫穷的国家中至少能提供某些挣钱机会。很可能正因如此，大城市越来越大，而把较小村镇中的居民点吸收一空，或如果它们位于市郊就席卷而吞没之。这里出现一个越来越大的集中化，在其中，如物理学中我们已看到的一种"方式"(或在这里是一个"中心")将占主导地位。这是一个典型的发展不稳定情况。至于这种发展是否继续下去，有一点就是取决于可供利用的交通工具，这里也可能出现有趣的相变类型。如果交通工具的数量和速度的增加，足以使市郊居民及时到达中心区，那么，城市就有可能继续扩展，如交通效率非常高，那么可能出现卫星城镇，其中一部分可能呈现所谓城郊宿舍区的特点。

在美国特别可以看到汽车起着重要的作用，在联邦德国也有类似的情况。由于在人口稠密地区，建筑用地的价格不断上升，人们不得不继续向外发展，甚至发展到原野。新的住宅区往往没有很好开发，尤其是缺乏运送居民上班的公共交通工具或供不应求。新"移民"居住得十分分散，因此就是建立公共交通事业也会入不敷出。这就使私人汽车在开发新地区时成了唯一有效的交通工具。汽车使许多人可以逃避大城市。与此同时，就出现了工作地点与居住地点分开的现象，此事有利有弊。个人的较大机动性，导致了经济结构的改变，正如我们在上面那个关于商店聚集的例子中所看到的。"夫妻老婆店"往

往已无立足之余地，取而代之的是备有大停车场的购物中心。这种新的居民点一旦形成，扩大交通网就很重要，或建筑道路以利于汽车交通，或发展高效率的近郊交通工具，后者在过了初创阶段之后可能就有利可图。如像在所有协同有序状态中那样，系统各部分的存在是相互依存的，就近郊交通工具也可以看出这一点：为使这种工具经济上得以存活，就需有够多的上下班者使用它。但只有在诸如城市铁路来往得够频繁时，他们才会使用它。因此在初创阶段一定亏本。汽车与火车之间的竞争是很有趣的。在美国，汽车已在很大程度上排挤掉火车，因此，许多初到美国的欧洲人觉得很不习惯。相反，美国人踏上欧洲首先要做的事情之一，就是租用一辆汽车。这使许多欧洲人感到奇怪，因为他们宁可乘火车。显然双方对怎样“到目的地”的看法完全不同。我们在对这些现象下最终断言时必须十分谨慎。汽车给了我们自由驰骋的天地，简直超出人们的想象，无论在职业生活还是业余活动方面都是如此。但另一方面，这也带来了诸如能源和有害的废气等问题。考虑到生活结构的各种错综复杂的因素，看来既不能把汽车全盘否定，也不能把它看成独一无二的交通工具。重要的是区别对待而不能忘掉全景。有些人，当假日旅行经过较差的公路网时常常大为抱怨，却同时又竭力反对在他们的居住地区有计划地修建一条新公路。

遗憾的是由于篇幅所限，我们对这些有趣的问题不能作更详细的讨论了，然而这段评论已能使读者不把城市和交通工具看成某种固定的设施，而把它们看成是有机发展的和一直在迅速改变着的事物。

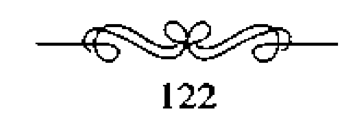




## 经营管理:随着你的对手亦步亦趋吗?

在关于冰淇淋小贩做生意的问题中,我们已一下子点明了在经济学中与"经营管理"理论相联系的一系列问题。公司的领导者必须为自己的公司建立起一个最佳的经营结构,并推行最适当的销售政策。领导者必须作出种种决策显然是千头万绪的。但至少从现有的理论来看,决策完全是由领导者单独作出的。然而上述冰淇淋小贩的例子立即表明,一家企业的决策很容易受到其他企业的影响。理由之一是,决策造成的效果总受到众多不可估计的因素的影响:它有赖于一般的经济状况,有赖于顾客的态度——他们是否喜欢某种新产品。企业自然试图一方面通过市场研究,另一方面通过广告宣传来减少这种不可估量的因素。这里,协同效应起着重要的作用。投放市场的新产品常常是受专利保护的。然而如果有许多企业同时生产一种产品,那么对这种新产品的产销反倒有利,因为各企业把注意力都吸引到了这种新产品上,起了相互帮助的作用。当然在市场趋于饱和时,这种协同效应会适得其反。那时我们将见到那些资源有限的系统的典型行为。本书已多次遇到过这些例子,例如在激光模型的形成或特别在达尔文的进化论中。

我们已经看到,可以用各种方式去对付增多的竞争。一种办法是不断扩大专业化,例如专门生产特别有声誉的商品。另一种办法是大大开发商品款式,亦即普遍化。汽车工业提供了人们所熟知的例子。属于第一种情况的是只生产某种特殊式样的赛车。属于第二种情况的是提供从小型汽车到豪华型轿车的





各种不同类型的汽车。

这些情况已表明，一般说来，经济系统根本不是静态的。确切些说，我们处在种类繁多的不断的动态过程之中。

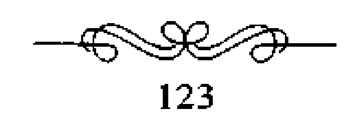
由于决策缺乏把握，企业领导者不得不相互观察对方的活动，结果他们最终采取了一种集体行为，而事先不一定已取得过任何共识。

这里我们打算提及一个重要观点，从协同学的角度来看它是很容易理解的。在经济理论或社会学中，总是不断出现共谋这个概念。似乎别的企业主或其他集团（例如买方）在共同密谋对付某一个体。但我们在后面将看到，集体行为形成一种自动反应，使个体不可能逃脱它的摆布，于是看起来好像即使不是整个世界，至少是某个集团在密谋对付这个个体。一个具体的例子将显示，作出决定的并非是好意或恶意，而是集体形成的条件。



## 经济的繁荣和衰退——一件事的正反两面

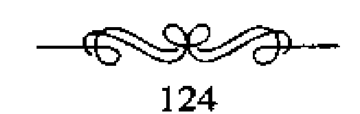
这里我们必须讨论一个在经济繁荣时期被人忽视，而在经济衰退时期却令人十分痛苦的问题——不能充分就业，直言不讳地说，就是失业。经济学家自然十分关注这个问题。随着时间的流逝，观点也许已发生了改变。以前，经济被看成一种静态结构。经济学家使用诸如经济活力或灵活性等概念。当销售机会稍有变化时，一个企业怎样去适应这个变化？而现在，把经济作为一种发展过程、一种演化来看待的动态观察，已越来越引起普遍的重视。这自然完全与协同学的普遍方法相一致，即不把




结构看成为一成不变的实体，而是从它的形成中去理解。下面我们从格哈德·门施的一个数学模型出发，这个模型容易被纳入协同学的一般思想方法之中。我们大家都知道工业发展要经历繁荣和衰退阶段，经济学家如哈伯勒等已对之进行了论证。各阶段之间的转变可以是十分明显的。我们由前面各章的大量例子中已经知道，在许多系统中，环境条件的微小变动（我们称之为“管制”）将引起总结构中的大变化。我们想在下面根据这种认识研究充分就业的问题。在探究这种相变过程的基本原因之前，我们必须先提一下经验性研究中的一些重要的有关事实。

## 技术革新永远是经济的动力吗？

在本书中我们一再看到，在极不相同系统的性态中有着两个完全不同的领域。一个是例如灯或液体层的正常性态，也就是说，当扰动不太大时，性态实际上保持不变。另一个领域特别有趣：系统不稳定，它试图取得一种新的状态。也就是说客观情况变得似乎有利于转变为一种新的状态。这种转变何时出现以及细节如何，常常由偶然的涨落来决定。在我们正在讨论的经济模型中出现的恰好是这种性态。然而什么因素在经济生活中起着涨落的作用，或者说起着所谓触发因素的作用？众多事件之一是经济中的革新，特别是那些基于发明的革新。例如内燃机、飞机和电话的发明，乃至一种新型吸尘器的发明。还有一大类发明我们不甚注意，但同样十分重要，那就是简化生产工艺的发明。所有这些在经济学专门术语中被称为革新。按照研究革新的经验性的观察资料，第一阶段从革新开始，在这阶段建立了





新的工业部门。一个引人注目的例子如汽车的发明。这种基础革新通常大量出现，也就是说它们纷至沓来。随着这种革新出现的是在新建立的经济部门中以改进生产为目的的革新。一个这样的经济部门的扩展有利地影响着其他经济部门，结果是整个经济繁荣。繁荣从各方面表现出来，例如高就业率以及随之出现的高购买力，带动了销售业，等等。对经济的研究进而表明，欧洲工业国家在四十年代后期和整个五十年代所进行的革新促成了大量新产品的出现，产品的开发远远超过了新工艺的采用。在六十年代出现了革新的转向：制造方法改变了，这种改变大致可用合理化一词来概括。经济活动中的主要动力，无疑是争取赢利。对此有关的讨论常常不免带上感情色彩，例如一个驾驶汽车的人从汽油涨价联想到某个人因此而获利。且让我们把感情色彩置于一边，并记住赢利的减少最终导致亏损，而诸如职业保障等问题就会变得尖锐起来。这里我们只考虑经济方面的问题。一方面出售足够多的产品可以得到赢利，另一方面企业的赢利因例如支付较高的工资而减少。这将影响价格，并可能使企业难以竞争。同时，生产的扩大常常与引进新产品相联系，这在开始阶段是很费钱的。较高的工资和避免支付新产品的高昂的初始成本两者，都不把投资引入扩展新产品，亦即提高销售量，而是引入合理化。因此，公司宁可要对生产过程的改进而不要新产品的改进。一家汽车制造厂宁可引进一台新式自动焊接机，而不愿引进一种全新的汽车式样。

前已提到，G·门施根据经验数据发展了一个从所谓突变理论导出的数学模型。它描述了从充分就业到就业不足的转变。我曾把这个模型翻译成协同学的语言并作了详细说明。诸如激光和液体滚卷的例子证明，当我们改变外界条件时，我们几乎能直接从图中看出，将会建立起什么新的平衡位置。图 12·1 表明




产量(用 X 表示)变化时协同投入的变化情况。我们假定开始时一个经济是平衡的。现在再研究,当生产变化时,协同投入会发生什么变化。由于开始时平衡是稳定的,我们就见到图 12·1 所示的曲线。

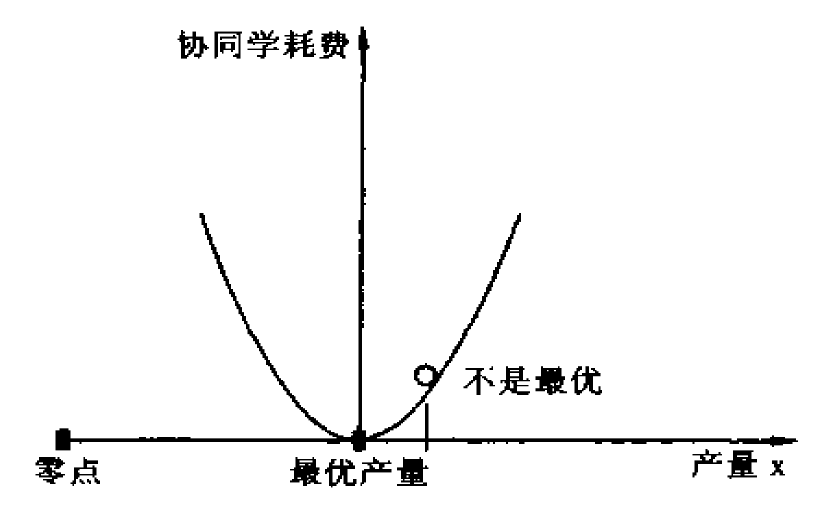
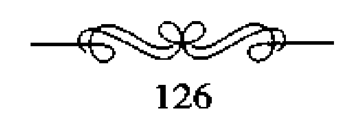



图 12·1　产量 X 变化时协同投入的变化图。

我们现在来研究当增加投资,以扩大生产时的曲线走势。由于提高生产是我们的目标,曲线显然要向产量较高的方向移动,也就是达到图 12·2 中所绘的位置。反之,减少生产的措施就使曲线向左移。现在来看看,当企业实行合理化时将出现什么样的情况。这可能产生两种完全不同的效应,我们可以通过一些例子来说明。新机器取代人工,从而降低生产成本。这样可使企业在减少产量时仍能得到赢利。这里的合理化是为较低的产量设计的。合理化也可以使产品价格便宜些,从而较高的产量也可以被市场吸收。这两种可能性,减少产量和提高产量,都可以用图 12·3 的协同曲线来表示,这对读者并不陌生。该图十分清楚地表明,我们必须抛弃经济只有一种可能的平衡状态的理论。这里可能有两种从纯粹经济学的角度来看是完全等价的稳定状态。说到底,"稳定"指的是,在外界干扰下状态并无实




质性的变化。在这种情况下当然可以尝试一开始就通过外界干预,人为地使协同投入发生变化,来打破对称性,如图 12·4 所示。下面即将说明怎样做到这一点。

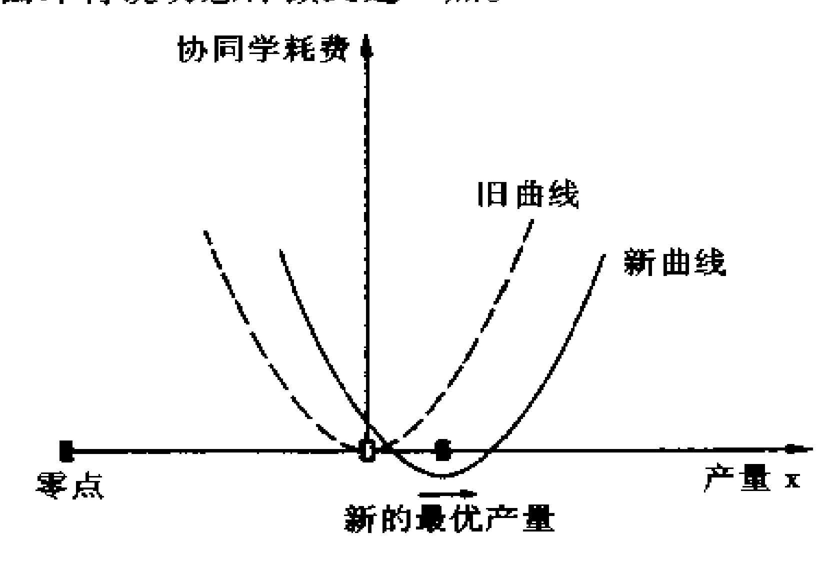



图 12·2　由于扩大生产的投资,投入曲线将移动而使产量 X 提高。

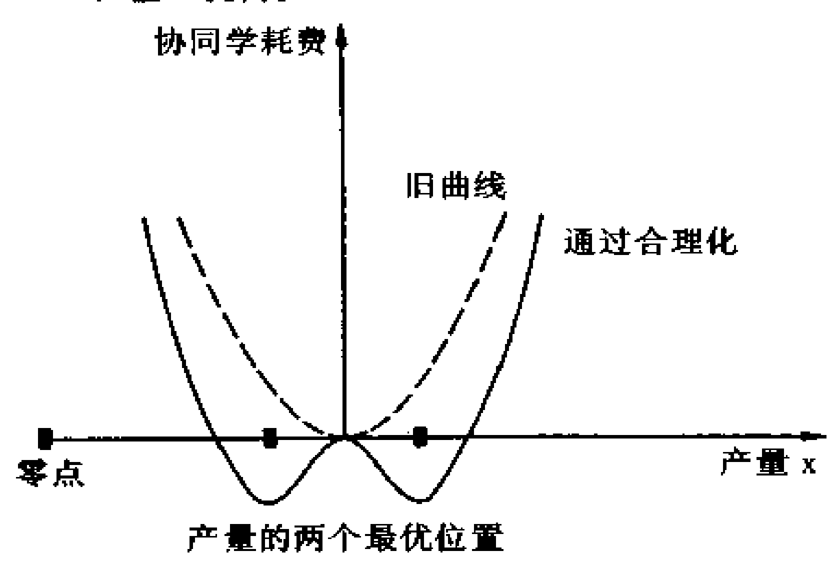



图 12·3　合理化措施导致产量的两个最优位置,提高产量或是减少产量。





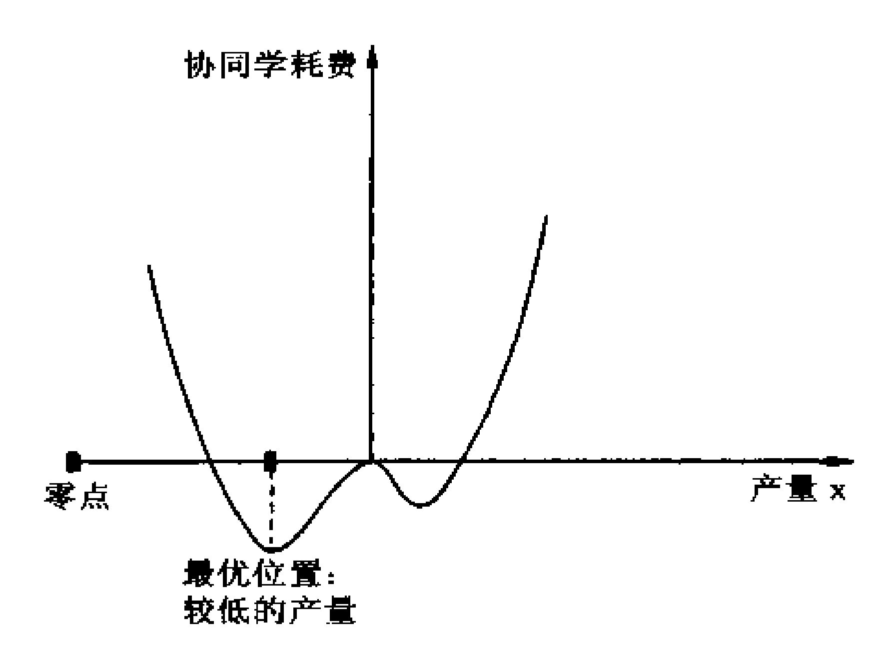



图 12·4　合理化措施和扩大生产的投资的共同作用造成与提高产量相联系的一个绝对最优位置。

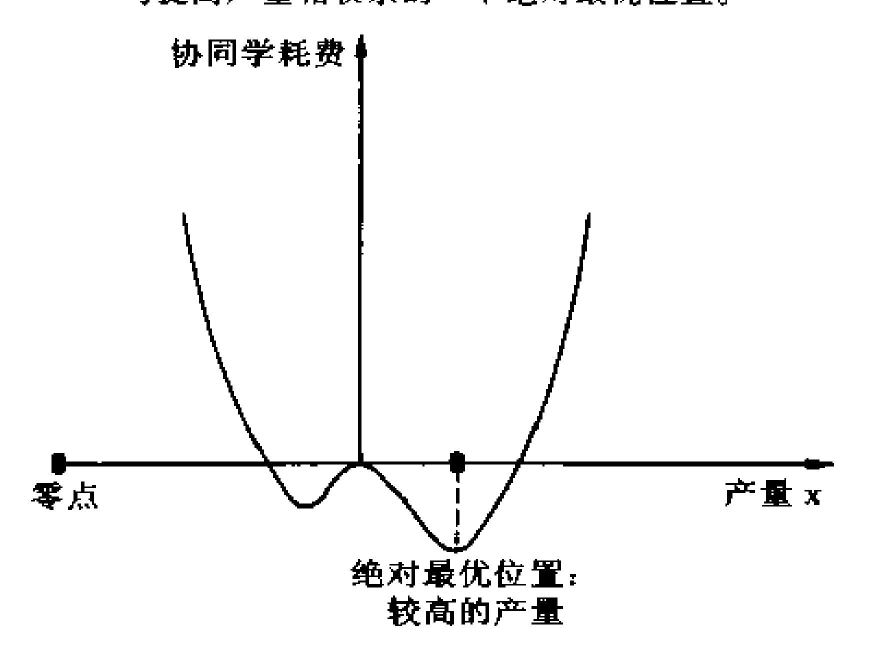



图 12·5　减少扩大生产的投资但采取合理化措施，使对产量 X 减少的企业更为有利。





但在经济中另有一种特有的因素会使事情复杂化，那就是只有数量有限的投资资本可供革新之用。但减少投资将使曲线向产量较低的方向移动。若同时考虑合理化措施和减少投资，就得到图 12·5 所示的图形。该图表明，经济形势明显地由左面的最小值来确定，亦即较低的产量，以及间接的较低的就业率。

这种表述清楚地说明了 G·门施已作出的推论。为了应用合理化来扩大生产并从而达到充分就业，需要同时进行目的在于提高产量的投资，这就完成了图 12·4 中的曲线(图 12·6)。但增加的产量只有与目标在于新产品的革新相联系时，才能为市场所吸收。

我认为需用这些相当专门化的解释向读者说明，如何借助协同学的观点来把很复杂的事情较简单地表示出来，从而看清它的作用。另一方面，像在其他各章中那样，这种变化过程的完整理论可以写成一本书，这当然不属于我们的讨论范围。本书只能用来激励人们作进一步的思考，并且指出复杂的反应也可用模型加以说明。

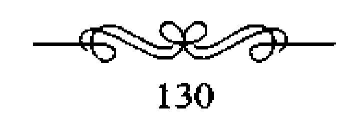
对此需要认识到，除了问题的数学处理外，对条件和结果的解释也起作用。因此就赢利减少而言，较高的工资可能负有一定的责任。反之，提高工资至少是部分地为了补偿价格的上涨，而这又引起生产成本的提高，从而工资再提高。这里是我们熟知的工资—价格螺旋线形波动。但由于一种现象制约另一种现象，从协同学观点来看，寻找一个罪魁祸首是没有意义的。必须了解的是，例如，工资—价格螺旋线将导致参数变化，而参数变化本身又能造成经济过程的突然转变，对此我们刚才已进行了讨论。







图 12·6　这张示意图概括了 G·门施及其合作者的成果。它表明，当投资用于合理化(R)和扩大生产(E)时，产量的"最优"值是怎样改变的。年份数字是联邦德国的生产情况。这里值得注意的是产量的突然下降。




# 经济生活中突发的集体变化

协同投入曲线与经验数据的比较表示，经济显然能够觉察到这条投入曲线形成了一个较低的最小值，并以“跳进”这个新的最小值来对之作出反应（图 12·7）。有趣的是这种行动常常是迟迟而来的。经济学家往往搞不清这个“跳跃”的原因。他们去寻找诸如石油价格上涨等外部原因。但对上面论述过的企业投资态度，内部原因更可能是决定性的。经济状况的大大改变早就该实行这种跳跃了，只是没有人敢这样做而已。这种效应与物理学中水过冷时所发生的效应相类似。水温已低于冰点，而水早就该结成冰了。它处于一个所谓亚稳定状态而不结冰。一种自发的波动，或者来自外界的一个微小震荡使水突然结成了冰。

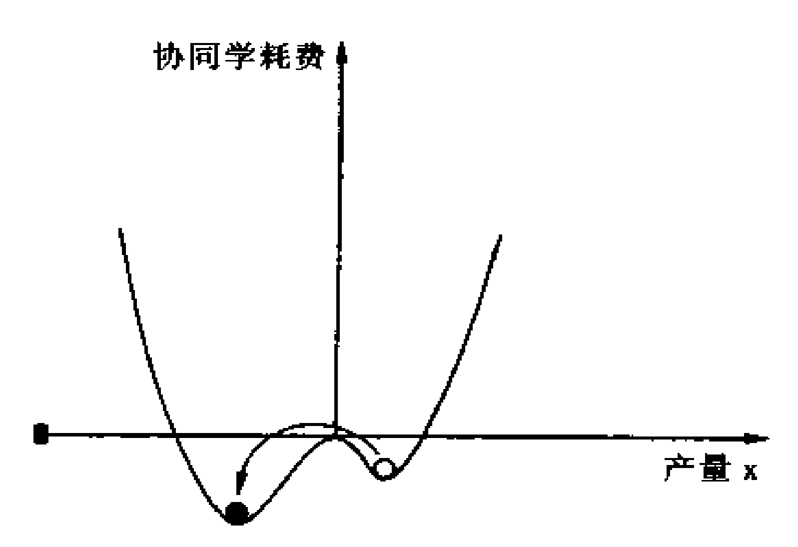
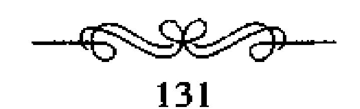



图 12·7　经济由相对有利的位置，跳进就赢利以及协同投入而言对企业绝对有利的位置，但并未顾及一般的就业水平。





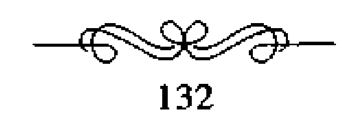
经济中也有类似的情况。有些变化过程很可能是由一个内因触发的，例如一个企业决定，为了较高的合理化而采取某一步骤。然而时机已经成熟，所有其他企业都随即效法。这第一个企业的行动就像一个涨落，并且如同发出了一个信号。但这些行动看来常是以“外因”为借口而伪装起来的。然而，外部原因太微小，它们本身不能成为这样意义深远的决定的理由。真正的原因在于一般经济形势，它现在起着“管制参数”的作用。这种“外部”原因只是一种推动，它把球从图4·16的协同投入曲线上推下来，但“内部”原因，也就是一般经济形势，早就使得协同投入曲线发生了畸变。球不再处于“正确的”稳定位置。有时不能在外部原因（或推动）与内部原因之间划出一条明确的界线。持续的石油价格上涨完全有可能导致协同投入曲线的一个系统性的“畸变”，而这导致经济形势的完全改变——在这里石油价格本身已成了一个管制参数。

上述的观察资料也说明了，为什么许多同类的企业常常在很短时间内行动完全类似。如果一个企业背离了这种行动模式，那么它是在逆着一般的经济潮流而行动，也就是在协同投入曲线上把自己置于极为不利的地位上。

我们看到，看起来像是各企业集体所作的决定，不一定基于彼此间的协商，当然这种集体决定会很快被怀疑为违反了反托拉斯的法令。另一方面，我们当然也并不断言这种协商从未发生过。

但合理化（以及其他措施）不一定**只是**经济形势产生的**后果**。企业也会因**预测**到市场的收缩和竞争的激化而实施合理化。合理化本身又会导致市场收缩，这是因为解雇人员并从而普遍降低了购买力。这样一来，原因与结果就不再能区分了。

这同时也表明，经济怎样摆脱低就业率平衡的问题未必有





一个确定的答案，因为它还取决于复杂的变化过程。G·门施的结论是，增加投资会导致生产扩大，趋向另一个充分就业的稳定点；然而若提高的产量不能为市场所吸收，情况就不一定是这样。因此也可以通过提高购买力来促进经济的发展，比如可以通过降低税收来实现。

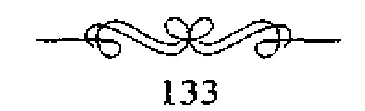
读者会注意到，我们在这里已经逐渐深入到经济理论之中了。但我们也熟悉这样一个基本原理：条件的微小变动也可能导致完全不同的平衡状态。

## 经济不像亚当·斯密所想的那样简单

即使在现阶段，我们的思考和观察已与可以追溯到亚当·斯密的自由市场经济传统理论的教条相矛盾。他是从这样一个假设出发：在自由竞争过程中，总会建立一种一般被认为唯一的平衡状态。然而我们已经发现有两个可能的平衡状态的相反例子。这里，总的经济形势非常难以从一种平衡状态跃向另一种，因为这主要只有通过共同的行动才有可能。在现实中，经济的性态远要复杂得多。例如，经济形势可以在两个平衡状态之间起伏，充分就业与就业不足周期性地交替。

## 国家管制：是祸是福？

在经济生活中出现的某种自动反应可能造成不良现象，如





失业等，这就立即引出一个问题：外界的，即国家的管制，能否防止这种效应？我们必须知道，管制包括种类十分繁多的措施。让我们举一个具体的物理系统，即激光为例。我们已经懂得，通过变动唯一的环境参数，即输入的电流强度，就能使原子自组织起来放射相干光。这里我们所施加的是一种十分非特定的管制，所有原子都受到同等作用，但尽管如此，却还是造成了激光的一种很细致的有序性态。还存在另一种可能性，比如，借助特殊光场从外界对**每个**原子施加这样的管制，使它们都按照相同的节奏放射光波。后一种方式的能耗无疑十分巨大，因为我们必须完全有目的地直接管制**每一个原子**。在经济领域中情况完全类似。一方面是管制的可能性，另一方面是这种管制对经济的影响用模型立即可以说明，管制个别过程耗资巨大，以致管制费用会高于，比如，保持平衡所节省的费用。对于这种情况，某些政府机关，特别是官僚主义者，是不加理会的。

激光的出色之处正在于可以用很少的力气，即完全无需了解激光情况的详细信息，就能用很简单的措施诱使激光原子自组织起来。有远见的经济学专家会持有以下观点：经济只需要**最简单的**管制。遗憾的是太容易看到，政府一方面用纷繁的税收和苛细的法律条文，另一方面又用有选择的补贴和普沾其益的优惠劈头盖面地对我们实施各式各样的管制。这里举两个例子，其中第二个有极大的政治敏感性。

由于第二次世界大战的严重破坏，德国政府面临着支持住房建筑的任务。有趣的是我们发现，这里有可能实现的正好是上面所讨论的两种管制的可能性。一种可能性是住房建造全部由国家投资。另一种可能性是借助管制参数进行调节，其中管制参数本身全无财政负担，只是把投资吸引到正确的方向。这种管制参数就是对要建造房屋的私人实行税收减免。这样一

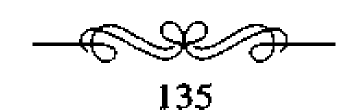
来，私人资金便被引导到所希望的方向而无需由政府，即公家，对此投入大量资金。

政治上高度敏感的第二个管制是保护房屋承租者的法律。这主要是为了满足社会上对“保护房客免遭驱逐”的需要。同时，这种法律也是为了使租金冻结在一定水平上，这一点不难看出，并且可以在数学上得到严格的证明。但这样一来，房屋出租者便不再有兴趣建造新的房屋，因为这会很快变得无利可图。最终将造成住房大量缺乏，因为私人投资者把他们的资金投向其他看来有利的经济领域了。

这个例子明显地指出了一种选择意义上的矛盾情况，因为立法者必须对两种可能性选择其一；立法者必须给某一方以优先考虑。我们清楚地看到，法律怎样直接影响经济情况，即使立法者的初衷并非如此。

读到这里，大概会有不少人期望用协同学观点开出一张万应药方，来克服这类困难。但这是办不到的，原因不在于协同学尚未发展得完善，而是完全相反。我们已在无数例子中看到，在协同学的范围内，存在着一个解决办法正好排斥另一个解决办法的基本矛盾。也许唯一的补救，就是通过较大的区分来缓和矛盾。然而这很可能又意味着巨大的外部努力，从而不值得采用。

最后再举一个能导致深远后果的政府干预的例子。在本书中我们一直看到，即使环境条件的微小变动也会引起整个系统的剧烈变化。有些这样的环境条件，在这里似乎是生活中的一个必然事实，就是已提到过的税收。这时很容易出现这种情况，即哪怕税收稍微提高一点，都会剧烈地改变人们的消费行为，从而很快就出现全新的宏观经济形势，例如可能导致较高的失业率。照我看来，即使是微小的环境变化(即生活中必然事实的变




化）也可能造成整个系统状态的剧烈变化，但许多政治家还没有看到这种可能性。

## 考虑不周的管制造成经济混乱

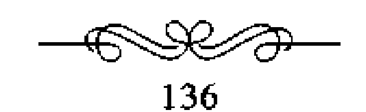
我们还必须提及一个问题，它在许多经济学专家听起来是离经叛道的，但在数学上却有其依据，并无疑在可预见的未来会在经济学中确立起来。我们从物理和化学中的例子得知，就是受控反应也可能以混沌的方式进行。让我们设想一个周期性地进行的化学反应，其中有物质颜色的变化——由红到蓝再到红，如此循环。人们当然可以认为颜色变换得太慢，因而周期性地添加某种物质促使变换加快，以控制这个过程。实验和理论都证明，系统的性态可以完全改变。颜色的有规律和周期性变化，为完全无规律的混沌变化所取代。

在高度复杂的经济系统中情况完全相同。事实上我们应预期到，忽视一个系统的特性的管制措施可能会导致典型的混沌过程。

在自然科学，也在生物学中，存在着一系统关于混沌性态的文献，经济学家如果加以研究，必然在这些问题上获益匪浅。

## 经济联系更紧密些，和平就更有保障吗？

我们已经看到，有一系列经济现象可与某种物理系统的现





象相比拟。其原因在于，至少在一定范围内，经济现象可以借助数学规律来描述，而基于数学关系的相似，就可以知道结论也相类似。在这个意义上，我们观察了一些模型，它们涉及现时十分为人们所关心的下列问题：世界和平能否通过更紧密的经济联系而得到更好的保障？

在许多国家中存在着一种强烈的倾向，就是想通过缔造紧密的经济联系，尤其是在两个对立的政治制度之间，而达到保障世界和平的目的。对这种情况所做的数学处理所得到的结论，起先使我大为惊讶，它们表明，紧密的经济联系确实可能增强稳定性，但也可能发生这样的情况：在加强联系前呈稳定的一种状态，加强联系后突然变得不稳定，甚至可能导致灾难。

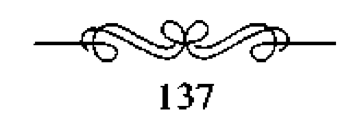
稳定性得到加强的解释，现在几已成为政治常识。每个伙伴都知道，紧密的经济联系有利于本身的繁荣，从而谁也不打算损害这种关系，而是想进一步加以发展。

数学模型是否在第二种情况，即不稳定的情况下失去了作用，或者这里还有产生更深刻的不稳定的原因？

我们在本书中一再看到，只有在有涨落的情况下才发生不稳定。国家生活中的这些涨落，例如，可能由于经济的、政治的和军事等各种危机而出现。一部分危机可能完全是局部性的。但这种涨落，可能引起对方采取经济报复等措施，而这些又可能引起反措施，结果导致冲突的爆发性发展。

从这个模型例子至少可以看出，较强的经济联系不一定自动导致较强的政治稳定性。

事实上看来需要在更坚固的基础上建立政治稳定性，这样就不局限于进行纯粹的数学探讨。这也许只有通过高度的相互信任才可能达到。





# 协同学规律可为人类造福

我们前面已列举过一系列具体例子，在其中经济发展过程常与那些完全不同的领域，如物理学和化学，表现出令人惊讶的相似性。这里集体行为起着决定性的作用。但在此基础上可能出现一些与亚当·斯密认为只存在一个平衡状态的经典经济理论有着本质上不同的现象。毫无疑问，未来的经济理论将必然更深刻地研究这些新现象，并采用协同学的方法，以便更好地理解经济现象，甚至改善经济的运行。然而我们在此不能忽视以下情况。像任何别的经济学理论，特别是社会科学的理论一样，协同学也面临着解释它的数学结果的问题。特别是因为，所有经济过程都有深刻的社会涵义，它深刻地影响着每一个人的职业和私人生活。有时这导致先验地排斥数学的方法。我们也遇到"专家治国论者"这一多半含有贬义的名词。也许是因为有时他们所得出的结论与意识形态上的一厢情愿想法相矛盾，这种人常遭到冷遇。但是应当明白，在复杂系统的一系列变化过程中(经济发展过程也是其中之一)存在着某种必然的发展，它们不可能通过意识形态上的一厢情愿的想法来摆脱。更值得探究的却是这些自动机制将走什么途径，以便在更高层面上利用它们来为人类谋福利。





# 13 革命能不能预测？

美国名作家伊萨克·阿西莫夫在其科幻小说《基础》中描绘了一位科学家塞尔登博士，他能推算出几百年后大众的行为，他尤其能预测革命。对这个问题，自然不只是未来学家才感兴趣。即使只能对今后几年作这样一种预测，那对我们自己也大有裨益，更不谈对政治家了。

革命意味着翻天覆地的变化，一种国家秩序被另一种秩序所取代。这里所谈的"秩序"，一语破的地点到了协同学的核心问题。秩序是怎样通过系统的各组成部分之间的协作而建立的？在本章中这个问题就是：国家秩序是怎样通过各个公民的协作而建立的？



## 作为序参数的舆论

我们再一次面对个体与有序状态之间特有的相互关系。有序状态支配着各个个体，反过来，各个个体又支持着有序状态。我们拟就社会学的一个热门课题，即"舆论"的形成问题，来仔细研究这种相互关系。





我们的立论是:流行的舆论起着序参数的作用,它支配着个人的意见,强制形成一种大体上是一致的舆论,借以维持其自身的存在。

个人意见受支配这个论点,当然得进一步加以论证;我要说明的是,社会学文献里有着大量正面的证据。然而,社会学领域中的关系要比激光和流体中的关系复杂,因为这里还有其他力量在起作用,在一定程度上可以说是其他子系统,即一方面是大众传播媒介,而另一方面是政府在起作用。尽管如此,我们即将看到,协同学的概念怎样使人们得以在错综复杂的丛林中开辟出一条路径,从而取得一幅社会各组成部分之间相互关系的相当清晰的图画。

我们提出的命题如下:

1. 个人可能受到一种流行的舆论的影响,并倾向于同意这种舆论。

2. 个人了解他人意见基本上有两种方法:一是彼此直接接触,一是通过大众传播媒介。

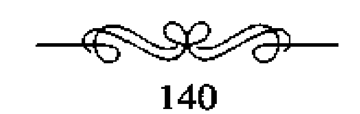
3. 大众传播媒介有其自身的推动力。

4. 在大众传播媒介之中,报刊通过其在公众中的普及程度而受公民的集体影响。

5. 在民主国家,舆论对政府有着决定性的影响。

在协同学的范围内,序参数与被支配系统之间的一系列相互关系可以用数学模型来处理,因而也就可以模拟舆论形成的动力学。我们现在来看看以序参数为一方而被支配系统为另一方的概念,怎样使我们能够说明不同社会力量之间的各种相互关系。图 13·1 就是这些相互关系的示意图。图中的箭头表示我们要详加研究的多种影响。

序参数支配子系统的主张在社会学中引起了震动。因为



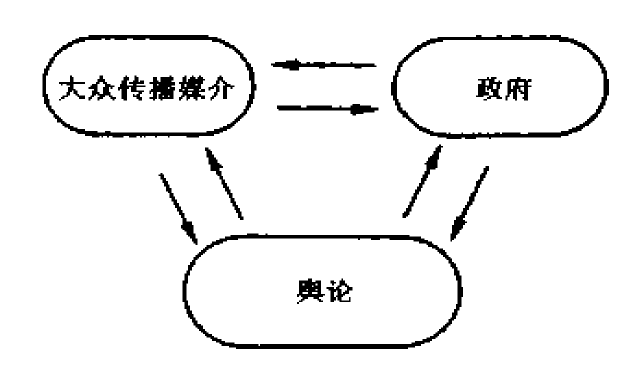




图 13·1　政府、大众传播媒介与舆论之间的相互关系。

这意味着，流行的舆论支配着个人意见的形成(图 13·2)。这种主张极惹人恼火，人们认为这是一种从自然科学向社会学的不可容许的外推，从而试图立即加以拒绝。我们不必急于下断语，且先听听社会学家们自己的意见。著名舆论专家伊丽莎白·诺埃勒-诺伊曼在其所著《沉默的旋涡》(皮佩尔出版社，1980 年版)中综述了一些著名社会学家的意见，这些意见证实了上述论点。书中列举的大量例子介绍了越来越多的新型序参数和被支配的子系统，从而引起了这样一个问题，即怎样确切地表述序参数这个概念。因为我们想把占主导地位的政治舆论认同于序参数，那就必须首先弄清，究竟什么是“舆论”。

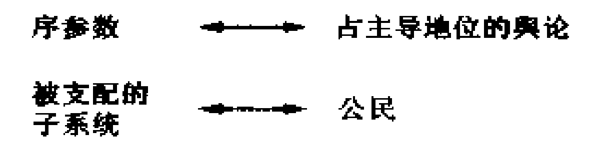
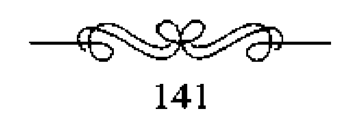



图 13·2　个人意见的形成受占主导地位的舆论的支配。

这个术语在社会学文献中可以找到好多定义。在我们这本主要带自然科学倾向的书中，应当尽量采用可测定的量值来表述，力求排除含糊的概念。这里我们可以直接与研究民意的那些机构，如舆论研究所的活动联系起来。





这些机构对当前人们感兴趣的问题编制了若干问题。典型的问题有“您赞成死刑吗?”“如果今天举行大选,您打算选举哪个党派?”等等。民意测验者然后统计各党派所得票数,从而获得意见分布的一幅图景。这类图表可以让人们一目了然地看出哪一种政治见解占主导地位。这与传统的科学结构研究毫无二致(图 13·3)。

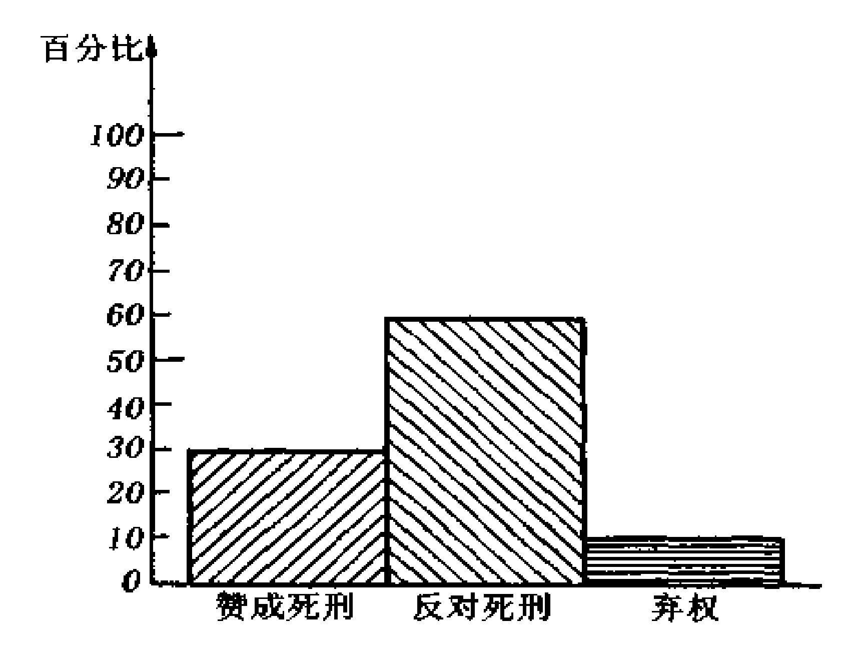
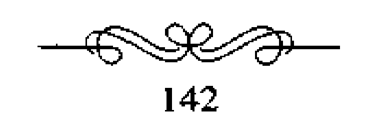



图 13·3 意见的分布(意见结构)的例子。

协同学是关于理解结构是**如何产生**的一门科学，即关于动力学的科学。因此，我们必须究问，一种政治见解的特定分布到底是怎样来的。可以设想两种极端的情况。一种是完全成熟的公民，他们独立形成自己的政治判断，并且坚持己见；另一种是本人在形成自己的意见时受他人的影响。在后一种情况下，正是相互关系，或者说协同效应，起着决定性作用。





# 人是可影响的吗?

社会学的资料揭示,要始终考虑到人们在形成其意见时受到外来的影响。这一方面是由于人类的心理素质所致,对此我们下面即将加以考察,另一方面则是人们对环境的自然反应。现代文明使得人类环境极其纷繁复杂,人们要适应这种环境殊非易事。矛盾的情势层出不穷,个人很难单独作出明确的答复。这就导致人们倾向于注意别人的行动和意见。再则,社会心理学家进行的试验表明,相当大一部分人会附和他们应能看出,甚至也许已经看出是客观错误的意见。或许最突出的例证是美国社会心理学家所罗门·E·阿希所做的一组试验。在上面所提到的伊丽莎白·诺埃勒-诺伊曼的著作中对此作了明晰的描述:



五十年代初期,美国报道了社会心理学家所罗门·阿希进行了50多次的一个实验。受试人应面对若干不同线段的长度比照基准线段作出估量。在所给的三条线段中,每次都有一条其长度与基准样品的长度完全相同的线段(图13·4)。初看起来,这件事毫无困难,因为很容易看出哪一条线段是与基准线段等长的。每次有8至9人参加实验,具体进行方式是:在样本旁边挂上三根供比较的线段,然后从左至右让排成一行的受试者依次说出他认为三条线段中哪一条的长度与样本线段相同。每次实验中都得进行12遍,也就是重复12次。

现在进行以下步骤:当所有参加者在头两遍一致指认

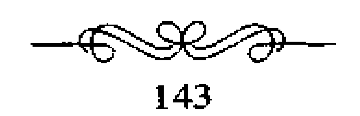







图 13·4 阿希的实验(参见正文)。

出一条正确的线段以后,实验的组织者改变实验方法。他的了解这一实验意图的助手们一致称一根短得多的线条与样本线等长。坐在最末的一位是首次受试者,他也是唯一不知个中奥秘的人。他的行为现在于占压倒优势的不同意见的压力下接受考验。他会不会动摇?会不会同意多数人的判断,即使这与他个人的判断相左?或者他仍将坚持自己的判断?

结果是:每10名受试人中有两人不改变他们的看法,另外两人在10次中只有一至两次同意别人的意见,其余6人多次把大多数人的明显错误意见作为自己的意见。这意味着:即使在一个无关紧要、无所谓的问题上,在根本不触及人们的实际个人利益的场合,多数人也同意众人的意见,甚至当他们无疑知道这种意见是错误的时候,情况也是如此。

在协同学的意义上,这种可影响性是形成舆论的所有集体效应的根源。这种影响具体怎样施加,以及我们怎样详细地进行数学描述,在这里是无关紧要的。根据作为协同学基础的一般规律,不同意见之间会自动出现竞争,最终有一个成为主流而获胜。这一现象最突出的例子是时装式样,它无非是舆论的另一种表现形式而已。此外,这里可以特别明显地看出,在这种集体效应中客观标准常是无关紧要的,而集体最后所偏爱的却是一种主观的意向。例如,妇女穿的裙子该长些还是短些,男人穿

的裤子该宽松些还是紧些，最终是一个爱好问题而不是深思熟虑的结果(除非时装设计师为了达到买卖兴隆的目的而巧妙利用了人们的集体行为)。这不仅对时装设计师是如此，也许还是一个成功的政治家的秘诀，他懂得怎么去利用这类集体倾向。我们下面还要回到这一点上来。

如果在意见的形成上协同效应确实起积极的作用，而它却没有为社会学家所注意，那倒很使人惊讶了。事实上远非如此，我们的确在社会学文献或历史编纂工作中找到了大量证据。"舆论"这个概念，也许首先是让－雅克·卢梭(1712—1778年)提出的，他认为，舆论是一种判断的表态，人们应力求不遭其非难。按照当今的定义，我们也许更应称它为"占主导地位的舆论"。

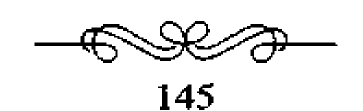
人们的可影响性已为杰姆斯·麦迪逊(1751—1836年)——美国宪法的缔造人之一——所明确指出，他说：

> "所有政府都立足于舆论，如果这个说法是正确的话，那么，个人意见的力量，以及这种意见对行为的实际影响，非常有赖于他认为与他持相同意见的人数多少的这一说法也同样是正确的。人的理性，当他孤居独处时，是畏葸而踌躇的，而按照与之相联系的人数的多少，人的理性益臻坚定和自信。"

伊丽莎白·诺埃勒-诺伊曼把这种关系归纳为：

> "社会性使人们害怕孤立，希望得到尊重和喜爱。"

另有一处她这样写道：





"只有假定了人们对孤立的极端恐惧时,我们才能解释人类为什么至少在集体中能取得伟大成就,即那时他们能够极有把握而无需借助于任何民意测验讲出他们赞成什么和反对什么。"

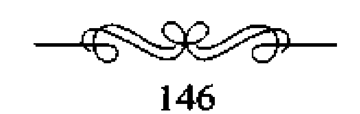
"与失去人们的好感,突然被孤立的危险相比较,观察环境的紧张,似尚属两害之小者。"

Ch·A·H·C·托克维尔(1805—1859 年)很早以前就已看出人类的这种可影响性,他写道:

"在民主政体的人民中间,公众的赞同与人们呼吸的空气同样重要,与公众不一致,就等于无法生存。公众不需要应用法律来制服持不同意见的人,非难就可以了。孤独和无能为力之感立即压倒了他们,并剥夺了他们的一切希望。"

受影响的可能性当然还不能说明建立宏观有序状况的问题,此处是指哪种意见最后取得主导地位。这只能由协同学的数学方法来证明。相互影响的可能性会引起扩大效应,正像我们在激光中所发现的那样。如果某种光波占主导地位,它终于压倒其他光波而在竞争中取得胜利。越来越多的原子受他的支配。占主导地位的舆论的形成方式可以与它相比拟。越来越多的人被席卷进去,并最后支持这种舆论。

托克维尔也清楚地认识协同学中的主要原理——支配。托克维尔强调指出,民主政体的人民怎样首先克服极度妨碍或推迟个人理性上升的外来势力,他们怎样开辟争取精神自由的途径。但是如果"在某些法律的势力下",托克维尔指的是在数量上占多数的权威,"精神自由会遭到扼杀的话,……那么其罪恶





只在于换汤不换药;人们找不到一种独立生活的手段,所能发现的不过是另一种形式的奴役而已。"

杰姆斯·布赖斯(1838—1922年)在他的文章中把这一点阐明得更清楚,他称之为多数派的暴政。

因此,我们把这种发展过程的最终结果称为**占主导地位**的舆论,而民意研究者,特别是伊丽莎白·诺埃勒-诺伊曼,只简单地称之为**舆论**。她因而把**舆论**定义为"人们对有争议的问题可以公开表态而不致自陷于孤立的那些意见"。在协同学的意义上,占主导地位的舆论与个人意见互为条件并相互稳定。

## 意见的改变:怎样和通过什么来进行?

那么,意见怎么还会改变呢?再与自然科学中的现象作一类比是有用的。我们看到,提高液体的温差将形成流体滚卷。应用到社会学领域中,这意味着环境的改变,例如经济形势的改变,内部政治压力的剧增等,将会动摇对现存意见的信心,换句话说,系统将不稳定。恐怖主义者的活动也属于这一类,他们试图削弱和动摇人们对社会秩序、法律等的信念,其目的是为改变意见作准备。特别在社会变动时期,对个人特别重要的是注意周围人们的行为,以免在变动的环境中陷于孤立。在协同学的意义上,外界情况为改变意见作了准备。但是,一旦出现了不稳定性,那么必然改变现状的意见就会在人群中蔓延。然而人们该朝什么方向走的问题常有待于解决。新的方向总只是由少数人决定的。一个由先驱者或积极的革命家所组成的小集团,常常甚至是某一个个人,就能成为某一个新方向的出发点。这里





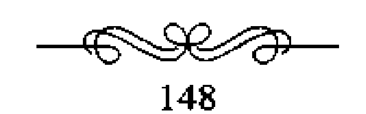
正是涨落起着决定性的作用,这我们已在本书中一再遇到过了。在不稳定的状态下,不可预测的、似乎是局部的事件,吸引力大增,而这种吸引力在正常时期是完全没有的。在正常时期,个别集团的行动只是一种很快就被忘却的插曲,一次很快就归于平息的小小的波动而已。

## 大众传播媒介:筛选压力下的序参数

迄今为止我们一直认为,序参数,也就是"占主导地位的舆论"以及个别公民的意见,是一个封闭的循环,有如激光原子产生激光,而激光又转而支配激光原子那样。虽然这种基本想法是完全正确的,但还需要对它作重要的补充。舆论不仅通过人们相互间的直接接触,而且也通过大众传播媒介而形成。认为大众传播媒介只不过是舆论的复制品,这是一种天真的想法。那是一种为很多人持有,但是错误的假设。相反,它具有自身的动力学,并且这又与协同学的基本问题紧密相联系。

上个世纪的法国作家居依·德·莫泊桑(1850—1893年),不仅在他的小说中写了妙趣横生的爱情故事,而且他也是当时的敏锐的评论家。莫泊桑曾一度当过新闻工作者,他在小说《俊友》中描写了一名出版商,此人在晚餐桌上把送来的新闻像商品一样按其价值分类。这里又出现了本书读者早已熟悉的许多原理。其中之一是设备有限的问题①。一张报纸不能包罗万象,

① 作者这里是指第12章"为什么城市越来越大?"一节中所谈城市中学校、医院等设备有限的原理。——译者




它不能超过一定篇幅，以免太贵。而且读者可以利用的时间也是有限的，正如社会学家所统计的那样，每天大约15分钟。于是，新闻工作者必须从大量材料中加以选择。然而按照什么观点来选择呢？当然有很多可能性。我们且采取按照协同学的观点看来最有说服力的那一种。

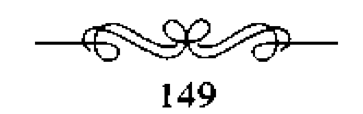
报纸或杂志要有人买，才能生存，或者换句话说，它们是由读者支持的。但是由于这种支持是有限的，必然会出现竞争，从而导致筛选过程。于是一张报纸或一份杂志一方面由于竞争，另一方面由于版面有限而受到压力，它就必须以最能保证其自身的继续生存的方式筛选其材料。因而报纸和杂志就有了双重的作用。其中之一是，它们起着序参数的作用，因为它们通过所表达的意见能影响读者的意见。这种影响有时是蛮横和压得人透不过气来的。因而诺埃勒-诺伊曼写道：

"大众传播媒介是公众的化身，一个管辖面广，隐姓埋名，无可非议，而又不受影响的公众。"

她在另一处写道：

"大众传播媒介是单向的、间接的公开联系，它与最自然的人际联系——交谈——相对立。它使个人对大众传播媒介有一种无能为力之感；在每次关于现今社会中谁拥有过多权力的调查中，大众传播媒介总是名列榜首。"

个人的无能为力表现在以下两方面。他被剥夺了出头露面的可能性。换句话说，他不能把自己的观点通过大众传播媒介传达给他人；个人可能遭到公众的嘲笑而无法自卫。甚至与一



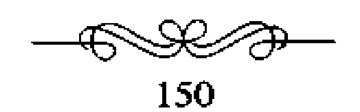


家报纸或杂志打官司也反而会替它作宣传，提高它的销售额，因而即使它打输了这场官司，也会得到好处。上面提到的报纸和杂志的另一个双重性为：

不错，个人是只能听凭大众传播媒介摆布的，然而大众传播媒介本身也可能受到读者们的集体行为的损害，甚至被搞垮。我不能想象哪一家报纸，如果它老是与它的读者唱反调，在没有外界资助的条件下，能在经济上长久维持下去。当然情况并不一定如此。报纸和杂志并不一定限于纯粹的政治题材（政治并非总是报刊的主要关注）。正是为了免与公众的反应和心情相牴牾，很多报刊走了综合性的道路。它们提供了政治、经济、文化等范围内相当广泛的各种题材。此外，出版物还通过内容无足轻重的地方新闻，例如下一次哪天来清除垃圾，或者什么时候有哪些活动而吸引了很多忠实读者。另一方面，这些题材并非哪家报纸所独占，因而并不妨碍当地报纸各显其能。事实上我们常见到：在小地方只有一份报纸，或者在较大城市中的设施供应区内，全国性新闻由一家报纸的总编辑部提供，而各地区报纸只是把它们的地区性消息补充进去而已。

不要认为这里不复存在各家报纸之间意识形态的斗争，而有关的中央报纸已垄断了舆论。这种舆论垄断甚至在经济上也很难通过读者的集体行为来打破，因为他们不能或不愿放弃阅读当地新闻。完全有可能的是，在各家报纸的发展过程中，开始时只是微弱的偏爱倾向会通过我们多次提到过的反馈机制而不断增强。对于社会学家来说，研究具有明显南北差别的联邦德国的选举结果与这种机制是否有关是一项有趣的任务。

我们作为个别的公民，怎样才能摆脱这种看来似乎无法摆脱的支配作用呢？当我们把自身的易受影响性考虑在内时，只有让外界影响在一定程度上相互抵消，才能克服这个自身的易



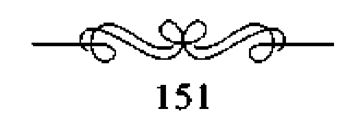


受影响性。就像我们在拥挤的人群中仍能站住，是因为我们身体的各方受到同等的推挤。这一点只有当我们能读到不同色彩的外地报纸，如果有可能，也能读到外国报纸时，我们才能处于这种平衡状态。这当然并不是说我们要订阅 20 种报纸。只要我们偶尔浏览一二种报纸就足够了。许多读者会有类似于我在国外旅行时的经验，在那里，联邦德国的问题以一种完全不同的新印象和新场景呈现在人们的面前。

此外，报纸而且首先是杂志，并不只走上面所讲的一般化道路，它们也走专门化道路，例如针对某些特别的读者群体。因而有些报纸的内容水平高，它的文章使人得到精神上的满足，而另一些则降格以博读者的欢心。

一张报纸是否有人愿买，这不只取决于它的内容，至少在一定程度上也决定于它的价格。这里有一种有利于某一种报纸的效应在起作用。那就是，一张报纸卖出越多，那么，由于明显的经济上的原因，它也就会越便宜，从而卖出得更多。这种发展过程可以进行到这样的程度：光凭这一点就可以使一家报纸在竞争中得以生存。即使你可能与这家在竞争中取胜的报纸的政治观点很相一致，你仍然会自动受到一种垄断意见的影响。即使人们想要保持自己原来的意见（这并不见得总是一种聪明的表现，正如改变意见也并不见得一定意味着没有个性），但报纸本身却随着时间的推移而改变观点，你也许不知道自己正在被一种新观点所支配。

我们必须记住，一种意见的形成或者一家影响大的报纸其地位的确立，常要经历多年才见成效，以致我们根本记不得受偏爱的意见，或者简言之，意见的垄断是怎样开始的。政治制度也是如此，它无非是一种以国家形式表现的舆论而已。在极端的，但可惜也是很现实的情况下，人们同步前进，就像臂挽着臂的一




队人，越来越深地陷入沼泽之中。如果哪一个人想要退出，他旁边的人也不肯照办，最终大家都沉下去。毫无疑问，在这种情况下出现的集体罪责问题完全是新的。原本没有人要这种“最终结局”，然而尽管如此，所有的人都一起陷入其中。当我们后面谈到专制时，还要再遇到这个问题。

## 世界的简化

我们再回到在序参数意义上的舆论形成这个问题吧。关于意见是怎样形成为序参数的问题，在自然科学领域内我们已看到序参数十分明显地出现，并且可以用很简短的一句话来描述，例如“占主导地位的激光波”或“蜂窝状结构”。通过加强过程，自然界最后保持了很鲜明的有序态，原因是各种可能的有序态之间的竞争和筛选。对于十分明显的精神有序结构形成过程中的行为，我们可以根据美国记者沃尔特·李普曼的研究来追踪其原因。主要有两种因素促使序参数，也就是统一观点的出现。第一个因素是资料有限，即能予以报道的消息或动向有限。这必然导致把复杂的现实简化为一个假象世界，正如尼克拉斯·勒曼所清楚说明的那样。沃尔特·李普曼是这样说的：

“每一份报纸，当它到达读者手中之时，便是一整套筛选的结果。”正如李普曼所补充说明的，这样会给读者造成一个合适的环境，可以说是为读者造成了一个假象世界，或者说得更干脆些，未被报道到的东西就是不存在的。

这种方式建立了一幅现实的简化图景，但我们认为它是真正的现实。这就是有利于序参数出现的一个原因：对筛选的天





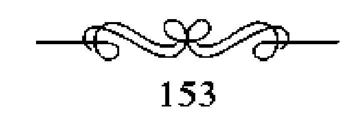
然需要。另一原因可以从这一事实中去寻找:精神领域中的主题也可以像在自然科学领域中的序参数那样简短地表达。这可借助“流行语”或李普曼已用过的词语**“固定铅版”**来加以理解。固定铅版这个概念出自印刷行业。人们把一般文字浇铸成一块固定的铅版,以便任意地反复使用。也就是说,固定铅版就是故意铸造出来用以表达某些明确的情况并常与某种意见相联系的流行语,例如“违禁职业”。于是这种固定铅版就像是流通中的硬币一样被反复使用,借助它终于可以在竞争中占上风。用李普曼的话来说就是“谁能掌握支配公众思想情感的代号,那么谁就能在很大程度上控制了通往政治之路。”

序参数之间的这种竞争在自然科学中十分普遍,而它也没有逃脱社会科学家们的注意。我们引用伊丽莎白·诺埃勒-诺伊曼的话作为许多例子之一:

> “注意力是短暂的,面对激烈的竞争,人物或主题必须据有主导地位。为了排除其他主题的竞争,大众传播媒介制造了假危机和假新闻。”

我们用协同学的方法所能认识的,是这些过程所共有的普遍规律性。舆论的形成或发表都受到一般规律的支配,其必然后果是大量不同意见被大大压缩为少数几条。但正是认识了这些规律,我们可以采取前已讲过的反措施。

但是另外还有一个要点,它没有在物理和化学过程中反映出来,而在有生命自然界中却有非常强烈的反映,那就是进化的性质。我们面对着一个不断变化着的环境。同时不断有新的思想产生和旧的思想消亡。这是一个巨大的动力学现象,这些现象在报刊中也反映出来。这里只需从社会学角度指出几个要点




就够了。

在报刊上探讨一些新的主题,以期形成新的舆论,如尼克拉斯·勒曼所说,这要求寻找词汇和表达方式。最终有一个主题可为传播媒介之用,协同过程常起着重要的作用。这个主题被从不同的角度或由各种报纸加以探讨。过了一段时间后读者们进入饱和状态。该说的都说了,用记者的专门术语,这个主题已经枯竭了。美国的一些人际关系研究者把人们的看法与大众传播媒介中的重点主题相比,研究哪个出现在先。得到的结果是有趣的。这些研究者们发现,一般说来,大众传播媒介中的重点主题出现于全国的看法之前。

由上所述,可以说明关于相互影响的一些基本思想。我们特别看到,大众传播媒介也决不是绝对的独裁者,它也有自己的生存问题。这里也有来有去,明显地表现于:一方面,新的杂志在发行或新的出版社在建立;另一方面,一些杂志合并或停刊。

## 电视——非同等闲的影响力

所有这些也表明,对电视起作用的是另一些机制。对于官方播出的电视尤其如此,在这里,收看者的态度对电视台的繁荣,更不必说电视台的存在本身,并无直接的反馈。另一方面,电视又受到限制,那就是播放时间不能无限增加。一般说来,例如,不可能把政治家的讲演全部播放。于是必须先加选辑,而这种必要的压缩,也就是选出一些讲演段落,这可能促进某种倾向性意见的形成,不管有关的电视编辑的主观愿望是否如此。考虑到收看者的可影响性,就出现了有趣的协同学上的问题,这些

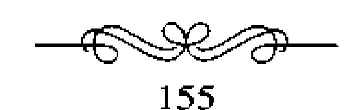
问题由于其涉及面广尚有待于进一步的研究。例如我们假定，播出的意见代表了分布在公众中的意见，那么按照协同学的基本规律，只要周围世界不出现与之明显矛盾的情况，一般可以期待会有一种意见不断得到增强和贯彻，最终占优势并一直统治下去。但另一方面，如果把不论什么色彩的意见一律反映出来，那么也会造成歪曲的图景，次要的集团将得到不应有的重视和不值得的支持。看来，避免这种左右为难的办法只能是，在一段时间内人们要容忍有一种观点占主导地位，而后另一种观点取而代之，但必须注意保持意见的自由，不能把一个意见"冻结"起来。

## 政府与舆论



协同学表明，序参数具有两面性或双重作用。一方面它支配子系统，另一方面，它又由子系统来维持。我们已经看到，"舆论"这个序参数也遵循这个原理，但它还有进一步的功能——这一功能是随着时间的推移才被认识的：序参数不但影响民众意见，而且它也影响政府。关于这一主题，大卫·休谟(1711—1776年)是这样说的：

"对那些研究政治哲学的人而言，没有什么比以下情况更使他们惊讶的了：**少数人**很容易地统治着**多数人**，以及人们自愿地把自己的思想情感和愿望屈从于政府。如果我们试图分析这种怪事是怎么会出现的，那么我们将发现，统治阶级仅只依靠舆论的支持。政府建立于舆论上面。最专





制、最军事独裁的政府是如此，最自由、最得民心的政府也是如此。"

这种看法也可以用休谟的一句话来概括："政府是建立在舆论之上的。"舆论对政府的最明显影响，在民主国家是通过选举来产生的。这里有一种值得注意的现象，乍看起来，它似乎与我们前面所说的相矛盾。在许多国家中，选举越来越多地以僵持而告终。投赞成政府票的或投赞成政府联盟票的与投反对票的人数差不多相等。追究其可能的原因是有意思的，因为它是我们在协同学中已经遇到过的一种现象，即对同一问题有不同的答案，或者说得明白些，对同一问题有不同的解决办法。

各政党的行为常常使人想起在前面讨论经济的一章中描述过的关于海滩上的冰淇淋小贩的行为。各政党也相互竞争，有时甚至可以危及某一政党的生存，而对另一些政党，它们面临的是能否取得政权或保持政权的问题。人们总认为，一个政党总有其一定的理想，并将为其选民贯彻之。但这个政党很快就发现，为了实现它的目标，首先必须取得政权，而只有它争取到足够多的选票时才有可能取得政权。从而它必须为此而调整竞选策略，以便把选民从其他政党那里吸引过来。但这相当于冰淇淋小贩的行为，他们不断向对方移动，直到最终各自占据某一个位置，顾客完全看不出这两个位置有何区别(至少在购买冰淇淋之前)。也许顾客吃了四年的冰淇淋之后，才会感觉到有那么一点儿差别。这种表面上的相似性，也可从以下事实看出，各政党常常采用完全相同的口号，例如和平、自由以及平等。由此可见，在复杂的环境中很难提出一个判断准则。此外，对于某些经济问题和社会问题，有时从客观上看存在两个等价而又完全不同的解决办法。在这种情况下，一个集团大吃其亏，而另一个集

团占了便宜，或者正好相反。

由于这些原因，并且很可能还有许多其他原因，我们已反复提到的“协同投入”或协同曲线，将具有多个局部较佳的位置。一个集团认为其中一个较好，而另一个集团则认为另一个较好。我们得到的是前面已一再遇到过的对称状况。我们知道此后将发生什么。很小的涨落，或在政治场景中，很小的集团或政党，就可以破坏这种平衡或打破这种对称。这时若一种状况常占优势，那么意见就完全可能越来越集中。这也许是民主制度的特征，它至少在原则上为另一方提供了上台的可能性。在这个意义上，民主制度比专制制度提供了更大的对称性，这是由于它提供了广泛得多的意见，以及个人发展的可能性。或者换句话说，民主制度能保证一个多元的社会。民主制度对于环境变化，例如经济情况，就具有较强的适应性。各种可能性都潜在着，只待适当地加强以应付一种新的情况。我们对经济过程的观察已表明，即使这样也不总能达到一个新的平衡状态。

一般说来，民主制度的特征是：它立足于一个基本秩序，但把结构形成和自组织交给个人或各个集团去安排。这并不是一个僵死的秩序，而是在较高意义上的秩序，它保证了个人的自由及其不言而喻的意见多样性。



## 舆论和少数派

正如我们一再看到的那样，自然界以及社会的各种极不相同的领域中的协同规律，产生了一种选择压力，这使各个集团越来越明显地联合起来，例如成立持相同意见的集团。这种趋势





可以甚至导致排斥和迫害持不同意见者，特别是对那些在其外部特征（如种族或宗教信仰）上明显地与他人不同的集团。在所有国家里，这些集团并不都享有国家的保护。为了生存，这种集团中的某些成员作出同化反应，尽可能使自己的行为与别人没有区别。但还有第二种生存的办法，这是一种相反的办法——保持高尚的形象。这些少数派集团被激励而取得越来越好的成就；这种好成就一般将赢得人们的尊敬，同时集团也将赢得尊敬，因而保全了它生存的条件。

这样一个团体的社会行为也会不同于其他人。这些集团的成员又常常为了生存而相互帮助，它们只有通过合作才会强大起来。而多数集团的态度又多半不同。在这里人人都把别人看成是明显的竞争者。卢梭 1755 年的成名著作《论人类不平等的起源》适用于竞争者。卢梭说："我将说明，使我们大家都为之精疲力竭的对声望、荣誉和显贵的最强烈的渴望如何锻炼了我们的才智和力量，我们可借以衡量它如何惹起和增添七情六欲，把人们变成竞争者、对手，甚至更坏的，变成了仇敌。"



## 革　命

革命，在德语中意为"推翻"（Umwälzungen），总是深刻地干预着所有公民的生活。在协同学的意义上，革命是指剧烈地改变社会的宏观状态，即国家形态。我们在本书中多次描述过物理、化学或生物学反应中的剧烈的根本性变化。在这些过程中，一再看到很明显的类似情况。这使我们可以期望，对政治和社会领域中的革命也能采用协同学的方法来研究。在这个意义

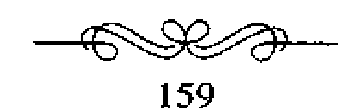




上，革命的出现如同相变，例如铁磁体由非磁性状态到磁性状态，或者由普通灯的无序光到有序的激光。但我们务必注意，不要过急作出太狭隘的类比，例如解释社会学领域中各种有序状态的意义。否则必定会遭到有理由的反对。因此我们将只在十分宽广的意义上应用“有序状态”这个概念来表征某一种政府形式，不同的政府形式对应于不同的相。

在无生命自然界中，例如在水的液相或固相中，各个分子相互间有一定方式的排列关系，而这种关系又转而决定水或冰的宏观状态。人类社会成员的行为方式在不同的政府形式中也是不同的。与无生命自然界中不同的有序状态之间的转变，例如由固态到液态的转变相类似，我们也遇到不同形式的革命。可能出现由君主制到民主制的根本性转变，例如法国革命；也可能出现由民主制转变为专制制，例如德国希特勒的攫取政权。也可能有一些革命使一种专制制转变为另一种专制制。从专制制到民主制的转变看来现时已很少出现，而从一种专制制到另一种专制制的转变则要频繁得多。在这张清单中显然缺少从一种民主制到另一种民主制的转变。其实这正是民主制的一种性质：即使执政党调换了，仍然保持其基本特性。

对革命有决定意义的机制是什么？我们现在也许已能在协同学的意义上，既通过数学模型进行研究，也通过历史学家的观察加以辨认。看来革命之前总是出现不稳定，也就是大量民众不再维护或不再坚决地维护现存的体系。此外还有相互的易感性和相互的影响，这些也许是决定性的因素。如同也可以用数学模型来表明的，对统治体系的否定态度以排山倒海之势而来。这种猛烈的来势更以现存体系的支持者越来越自我孤立和缄默而加强，从而有意无意地撤回了对现存体系的支持。伊丽莎白·诺埃勒-诺伊曼用缄默螺旋线这个词语形象地描述了上述情况





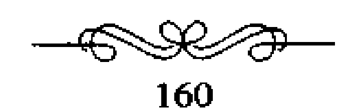
的特征。这种现象以前就已被观察到和描述过，如在亚历克西·德·托克维尔的法国革命史中所描述的。托克维尔谈到了十八世纪中叶法国教会的衰落：

> “那些还保持原来信仰的人们担心他们是仅有的笃信者，由于恐惧孤立甚于害怕错误，他们就随了大流，尽管思想并不与之一致。当时〔还〕只属于一部分国民的观点，便显得是大家的看法了，并正是由于这个原因使那些造成了这种假象的人们无法抗拒。”

这里涉及的是一种放大或加强的效应，当现存体系的大多数支持者从内心和自发地背离这种体系时，这种效应表现得更加明显。

那么为什么会出现这种不稳定化呢？这可以由长期战争所造成的经济贫困、精神上的压抑、高失业率、横征暴敛（例如德国1525年的农民战争）和对未来的幻想破灭等所引起。此外，我们已经指出，一些小集团进行恐怖活动，造成不安全的气氛，也促进了国家实体的不稳定化。在这里也可以造成一种螺线上升的趋势，当法律的威信被削弱，司法机关的决定不再为国家所支持，从而刑法的执行必然越来越不起作用。

相变理论使我们能在革命的机制中重新找到许多在自然科学中发现过的效应。我们已经知道，在相变过程中观察到的旧状态的不稳定化，是与强烈的波动现象相联系的。例如水汽化时有强烈的密度波动。在社会学领域中则是经常出现反常现象。在正常的政府形式中，这种反常现象极少，即使出现了，也没有任何持久的效应。在政治领域中，这种反常现象可能是恐怖事件的迅速增加，相互竞争的政治集团之间的斗殴，对国民经



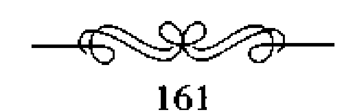


济有毁灭性后果的大规模罢工,游行示威和当今政府原来禁止的公开集会。这些都是国家秩序即将崩溃的标志。通向新秩序的新的国家形式的道路常常还不能看出来(这也为数学模型所证实)。现代史中的一个例子是伊朗国王的倒台,当时各政治集团在他退位后就相互竞争。根据协同学的观点,某一个非常积极的集团可能破坏平衡并确定整个国家的发展方向。在协同学的意义上,大多数革命是一种破坏对称的不稳定性。在群众游行示威中,可以很清楚地看到各种个人意见之间的相互激扬,对革命的集体要求。群众进入群体激愤状态,不可抑止的"该干点什么"的冲动爆发出来,诸如砸碎商店的玻璃窗、烧毁汽车,在法国革命中攻打巴士底狱就是如此。在这种群体性奋激状态中,个人的逻辑思维看来已不再起作用。人人似乎都为一个序参数所支配,也就是被一个任意形成的口号所支配。

于是我们回到开始时提出的问题:革命是否可以预测,甚至是否可以预先计算出来。就是现在,民意研究所看来已能在一定程度上确定何时将发生全国意见的重大分歧,何时将发生实际状况与理想状况之间的分歧。看来一方面通过应用协同学方法,另一方面通过改进民意测验手段来预测革命的爆发,是可能的。

然而我们必须以某些非常重要的发现为基础,在这里引入几项基本限制。正如协同学的具体例子一再表明,一个系统在其不稳定之初,不再能明确预测它的进一步发展。因为很小的涨落就可起决定性的作用,因此只能作出概率性的预测。正是由于有必要引发涨落的出现,要精确地预测这种革命或民众起义何时发生也是困难的。

对于那些希望实现革命,并从中追求一种新的专政的人们来说,这种认识显然是十分重要的。毫无疑问,当超级大国介入





其他国家的事务时，也必然应用这些方法：(1)首先必须使占统治地位的政治体系(不论民主制还是专制制)不稳定化；(2)使一批坚决的革命者把处在不稳定状态中的国家推向新的方向。

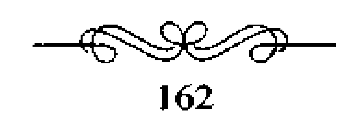
估计大多数读者都会根据他们自己的思考和观察同意上面所讲的话。另一方面，由数学模型可以导出的另一个结论却可能会被认为是一种异端邪说。数学模型清楚地表明，某些宏观相的出现(这里我避免使用有序状态这个词)，不仅系统的宏观性质，而且各组成部分的性质亦可以是重要的。期待一个在没有激光活动时只发射红光的原子发射出绿光来是永远不能成功的。同样我们必须自问，某种形式的政府的出现是否受到其民族性的鼓励或阻挠。这是一个还有待社会学家和社会心理学家研究的广大领域。

## 能定出行动的普遍原则吗?



根据自然科学和社会学中大量不同的例子，以及根据数学处理，可以得出一些普遍性结论，其中有些是令人失望的。最重要的几个结论如下：

仅仅通过集体行动(一个人与别人同样行动，只是因为别人如此行动)，就常能造成很多不同的宏观状态，在政治方面是政府形式或甚至可以包括一些集体犯罪的行动模式。对少数分子的杀害也是国家政策的祭神杀牲的一部分，正如在其他生物中毁灭一个物种那样。此外还有第二个观点，在作经济和政治决定时，答案常常不是唯一的，会出现多个同等可取的答案。这里所讲的答案，并不意味着发现了新的最佳效果。这些答案各有





优缺点。这些可供选择的答案与相互联系的集体态度模式有着最密切的关系。因为某一个人以一种方式行事,另一个人认为也必须以另一方式作出反应。考虑到这种情况,我们必须自问,怎样才能防止整个社区的行动下降到把个人指责为犯罪的程度,以及在答案分歧的情况下如何才可能(并不一定能)找到明确的答案。

对这个问题我个人能作出的唯一答案是我们看问题时应该站得更高些,也就是从道德的、人道的和宗教的观点来看问题。这意味着不能采用附和苟同的办法,并且决不能等待别人先迈出第一步。如果一个人自己不准备这样做,也就不能期望别人去做。

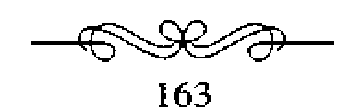
正是由于可供选择的答案有时不一致,在个人并不受较深的洞察力指导的集体行动中,导致灾难的错误行为将不可避免。然而每个人在作决定之前都面临着这种选择。他遵照伦理学的观点呢?还是只把自己看作为生活和生存而斗争的一个集体的组成部分?



## 对官僚主义的一些思考

协同学新近研究的现象是官僚主义,或者确切些说是官僚主义的不断增长。官僚主义的增长以及不断上升的雇员费用,与经济过程中为提高效率而一再采取的合理化措施是完全背道而驰的。这需要集中说明导致官僚主义增长的几个原因。

我们已在关于经济的一章中看到,对公司的行为,利润是一个决定性的原动力。这是与公司的生存休戚相关的问题。但很

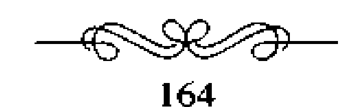




多行政机构却缺乏这种效益的反馈。这种机关除了大堆大堆的纸张外什么也不生产，因此就很难用经济效益的尺度来衡量一个机关的工作。另一方面，首先是在政府部门中，行政机构一直在飞快增加。而且这种增加本身又引起很大的内部摩擦的损失，如果单单因为在扩大了的机构中，涉及同一个问题的负责人帮手的数目越来越多，而人际交往关系的次数则与人员数目的平方成比例地增加。不仅政府机关的部门是如此，较大公司中行政机构的增加也确实有此情况，并有可能大大削弱公司的竞争能力。分析行政事务马上可以得到这样一个观点：在自然界中经常遇到的自组织这个基本原理，在这里是完全不予理会的。这里有着自上而下和自下而上的大量信息流动，从自然科学家的眼光看是十分荒唐的。一方面，下级部门越来越事无巨细地受控制，这需要费很大力气去订出许许多多的规章制度。而且即使是最好的法律学家和行政专家，也不可能完全估计到可能出现的各式各样的问题，要不然他简直就是可爱的上帝了。因此，太严格的规章是不合逻辑的，并将导致不合情理的决定，但也必须承认，太疏松的规章将会导致专断行动，例如在法律领域内，某人可能会被无罪释放，而另一个人却会由于同样的违法行为而被投入监狱。我们必须研究，如果人们行动有较大回旋余地，许多行政事务程序是否会快得多，以及人际关系亦不致那么紧张。

另一种大得多的精力浪费是对下级部门的事无巨细的控制，这使这些部门完全不负责任。这自然意味着大大地增加了工作负担，因为上级部门再次，有时是多次，把下级部门已经核查过的事重复核查。这种控制方式的浪费比下级部门失职，甚至在个别情况下比有意营私舞弊造成的损失还要大。

协同系统的许多例子证明，上级部门对下级部门办事方式

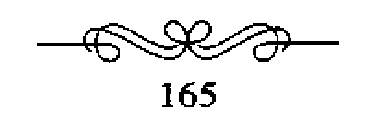



的积极干预,可能导致混沌状态,也就是使它的实际功能与原来期望的功能不符。每一个与行政管理过程打过交道的人,都能证实这一结论。

由协同学角度作出的回答是比较简单的。但问题是,有没有肯接受这点的官僚主义者。

当我们想到有生命和无生命自然界中的许多范例时,我们很快就明白,应在较低的水平上允许有多得多的自组织,也就是说只立下一般性的规定,下级部门可以因地制宜和创造性地加以补充。同时可以大大减少信息流通量。如自然界所示,信息的传递不仅是不必要的,而且是碍事的。因此只需传送有用的信息。例如一家化工厂的经理决不需要通晓他的产品化学生产过程的细节。影响他的决定的是另外一些参数,例如生产成本。引进新的生产工艺,是他的下属的责任,而他不能,也不该干涉他们的决定。当有了新方法或新材料时,去探索正确的方法,说到头来是他们的本职工作。

我不讳言,对于阻止官僚主义的增长,我是持怀疑态度的。只有在整个公司或公共行政的机构崩溃以后,才能从头做起。





# 14

# 幻觉能证明关于大脑功能的理论吗?

人类的大脑也许是大自然所创造的最复杂,同时又是最迷人的结构。外科医生打开脑壳,看到的是表面似乎十分均匀的灰质,上面布满纤细的纹理。这其实是复杂得难以想象的神经细胞网络。

在上世纪下半叶,意大利人卡米罗·戈尔基通过染色使单个神经细胞成为可见。在一百个细胞中有一个吸收了染料,并呈现紫铜色。我们可以看见一个神经节,由它辐射出大量分支(图14·1)。需要用显微镜才能看见这些细胞,因为这些神经细胞(也称为神经元)的直径只有千分之一毫米。估计大脑中大约有一千亿个神经元,恰好与银河系中恒星的数目一样多。神经细胞是由被称为神经胶质的细胞所固定、支持和营养的。神经元常作层状排列。有些研究者近来还认为,在层内及层与层之间有着柱状结构。其中的细胞被特殊地"连结起来",构成功能单元。

我们所谓连结是像电话电缆和导线那样遍布于大脑的神经元之间的多种联系。其中有些联系存在于邻近的细胞之间,而另一些则如同海底电缆那样,达到大脑中遥远的区域(图14·2)。





这些联系确有与电缆相同的作用。与电话电缆相同，它们用自己的莫尔斯装置①传送着电信号。人类用的莫尔斯电码是由点和划组成的，而大脑的莫尔斯电码仅只是点。但是，大自然已经找到了传递不同内容的方法：它以不同的频率传送点信号。

当信息到达时神经元能予以加工，并把信息传递给其他神经元。

把极细的导线(电极)从外界插入神经元中，大脑的研究人员便能探测单个神经细胞中的电过程。

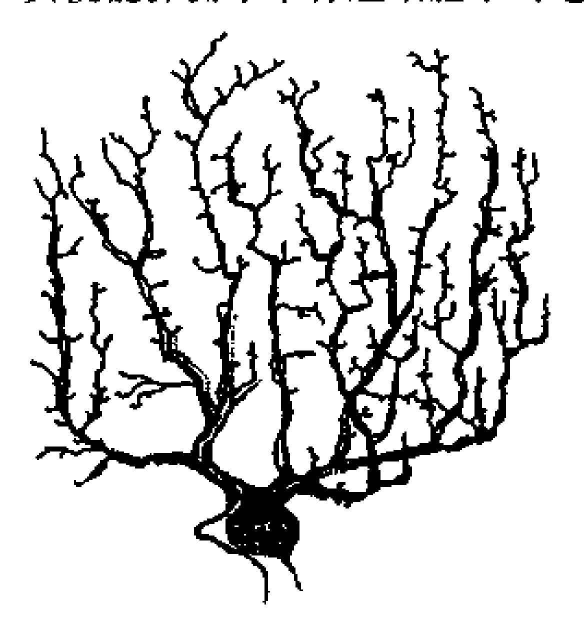


图 14·1 一个神经细胞。

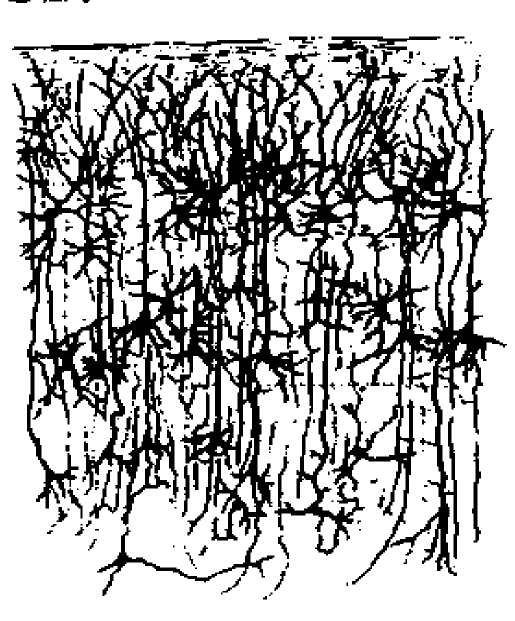
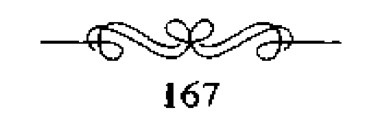


图 14·2 神经细胞网络。



① 指美国莫尔斯(Samuel Finley Breese Morse，1791—1872)发明，并经改进后为各国普遍采用的电报机。——译者





# 有没有"祖母细胞"?

现代的科学还远远不能解释人类的思维过程。但已经有些有价值的实验,它们至少对大脑的一些细胞甚至一个区域的作用作了说明。休伯尔和维瑟尔曾对黑猩猩进行过实验,他们对黑猩猩出示或晃动一些物体(例如带或棒)。相应的光印象被黑猩猩的眼睛所接收,并进一步传递给大脑中管视觉的某个区域。当研究者把电极插入这区域中并研究各个神经细胞怎样对置于眼前的物体作出反应时,他们惊奇地发现:特定的细胞对特定的外界印象作出反应。这意味着有这样一些细胞,它们不仅对棒有反应,甚至还根据棒的取向不同而以不同的强度作出反应。也就是说一个细胞传送大量的莫尔斯点,或者用专门术语来说,当棒有一个确定的取向时,神经细胞"发射出许多神经脉冲"。但若把棒转动90度左右,那么这个细胞几乎不再作出反应(图14·3)。还发现一些细胞甚至能以某种方式对棒的运动发生反应。这些神经细胞似乎属于大脑的较高级层次,由眼睛感知的信息先在串联的神经细胞中经过准备加工,最终使得在被研究的细胞中出现这些特殊的反应。

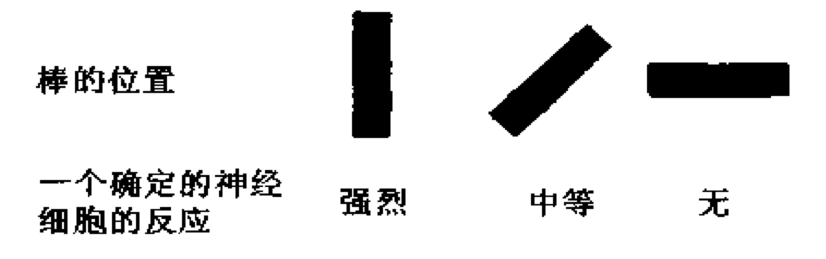
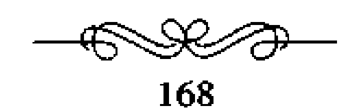



图 14·3 某个神经细胞对视野中一根棒的位置的反应。

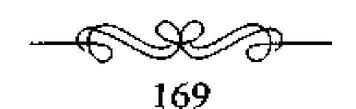




换句话说，看起来像是在进行某种计算程序，其结果呈现在被研究的细胞中。用平常的话说，就是“棒是竖放的”或“棒是平放的”。

这些结果可能倾向支持早先提出的关于大脑功能的假设，即关于大脑怎样识别图象这个问题。按照这种假设，在大脑中应有专门的细胞，它们不仅可以认出一根棒，而且也可以认出，例如，整张脸。在文献中，这种假想的细胞被谑称为“祖母细胞”。这些细胞能使某人认出，例如，他的祖母。然而多数科学家放弃了这种假设。因为一方面尽管费了很大力气，还是没有能，例如，在黑猩猩中找到一种细胞，能借以认出，比如，棒的图象。另一方面，由对如因意外事故而受损害的大脑的研究可知，思考和记忆功能并不严格局限于大脑中的某一部分，而是分布在一个较大的区域之中。科学家们现在倾向于假设，感知、记忆和思维过程是一种特殊的集体效应，其中每次都有大量的神经元参加。既然说到多个神经元以集体方式起作用，显然我们必定要问，如何才能证明这一点。

讨论这个问题之前先作一点说明，以消除可能产生的误解。如上所述，人们可能得出结论：各种能力，如视觉、听觉甚至还有言语，是散布在整个大脑中的。但并非如此。例如单从对事故的研究中早已得知，大脑的许多严格限定的部分承担着某种功能，如视觉、听觉、嗅觉以及言语等等。顺便提一下，言语中心也不是仅由一块，而是由两块组成的，其中一块看来管形式或语法，而另一块则主要管言语的内容。利用新的医学方法可以亲眼目睹大脑各部分的功能。如果哪一部分工作得较为积极，那么它就需供应更多的血液。可以用化学剂来标示增加的流入量，但对此我们没有篇幅详加讨论，常用的是一种 X 光机（虽然这里是另一种物理过程）。这揭示，人们的不同活动是接通了大




脑里范围明确的某些块而起作用的(彩图 2·3)。很多不同的系统起着协同的作用,这件事是饶有兴味的。

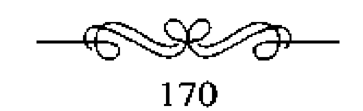
但是我们要研究的问题是:大脑的一个单独部分,例如感知光线的部分,是怎样起作用的。关于这些部分的功能,已有了若干个数学模型,例如那些假设只存在两个类型的神经元的模型,其所根据的实验结果表明,有一些神经元强化神经脉冲,而另一些则起着抑制亦即对信号加以压制的作用。抑制神经元的作用乍想起来令人困惑不解。但它有一个重要功能,即使我们能识别轮廓模糊的棱边。在此我们不想以细节使你厌倦。我们感兴趣的是:怎样才能大体上测试这些大脑模型。

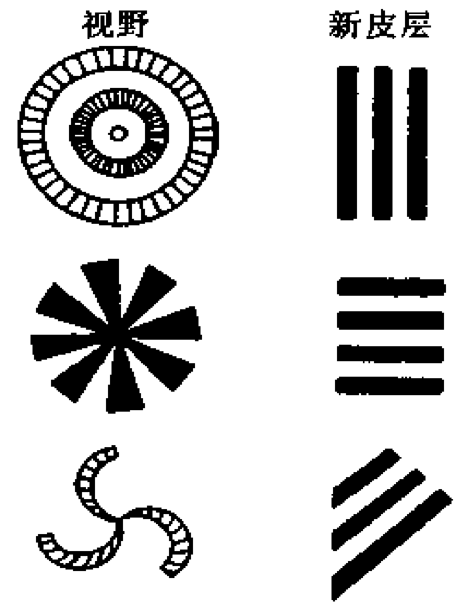
## 大脑兴奋模式——假设和实验

在本书中,特别是在关于物理过程和化学过程的各章中,我们已经说明,极不相同的系统可能形成完全相同的模式。例如在液体和空气中都出现相同的宏观排列的分子滚卷运动。我们一再看到,系统各组成部分之间的相互关系并不那么重要。一旦到达系统的不稳定点,同样的宏观模式就会出现。

美国生物数学家杰克·考恩参加过一次我们关于协同学的会议。他听说了这些相似性,特别是液体中的滚卷形成的相似性之后,产生了大胆的想法。他把幻觉与大脑中的宏观兴奋型式的形成联系起来。吸毒者说他们在吸毒(例如 LSD[①])后有一种十分相似的感觉。例如他们看见同心的圆向外延伸的射线或

① LSD 是一种致幻剂,学名麦角酸二乙基酰胺。——译者



毒品所致的幻觉

图 14·4　考恩的幻觉理论。左：吸毒后人们的感觉模式的例子。右：按考恩的假设，大脑中的条状兴奋图案。

螺线(图 14·4)。考恩早先就发展了一种数学理论，说明由视网膜接收的图象怎样传送到大脑中管视觉的大脑皮层。这类图象可以作如下的说明。位于视网膜中的各个神经细胞(亦即感受器)，它们接收入射的光线并以神经信号的形式传送出去。这里我们且不管这是由单个细胞还是由这些细胞的整个复合体这样做的。视网膜这个点借助一个神经束把信号传送到大脑中一个特定的点。视网膜上邻近的点各有专用的通向大脑的“电话线”，它们也可到达大脑中邻近各点。如果我们应用考恩的假设——视网膜上的圆形映射在大脑皮层上的方形区，便得到了一个惊人的发现：在幻觉中看到的图形正对应于大脑中的直线条，也就是神经细胞中的兴奋模式。它们的差别仅在于取向(图 14·4)。考恩甚至还成功地根据幻觉时的复杂感觉追溯出大脑中原来的模式，也即我们熟知的蜂窝状模式。

怎样来理解这一切呢？吸入毒品，显然使大脑的功能失去了稳定；原来的静止状态让位给某种新的宏观状态，这里为一种兴奋模式。这与液体的情形十分相似，液体开始处于静止状态，但后来——底部加热后——突然呈现出一种宏观的运动状态。在那种足以使大脑丧失稳定的毒品浓度下，神经元开始疯狂地

激发起来。但有趣的是这并非是杂乱无章的状态，而是完全有序的。当然，我们不是说大脑真的像液体那样运动。我们只是试图以纯粹基于数学上的相似性来作形象化说明。

目前还只能把这些想法看成完全是一种推测。当然很有可能进行实验验证，但显然首先要把我们现在所用的研究大脑的方法大加改进。迄今为止还只是利用一根插入的电极来研究单个细胞的兴奋情况。为了证明不同神经细胞的同时兴奋，显然要用一整套电极网络。看来，这开拓了研究大脑的一条令人神往的新路。

认为许多神经元同时以明确的模式发射神经脉冲，这看来很具假想性，然而在大脑研究中有一种确实能观察到许多神经元的关联激发现象。这些激发十分有规律，所产生的电波可用脑电图测量。这种有规律的脑电波出现在癫痫发作时(图 14·5)。因此有规律的兴奋模式(在这里是周期性的摆动) 是与病理过程相关的。由这种观点出发，就可以说明癫痫发作时的周期性摆动，与前面假设的幻觉时大脑所具有的空间模式是相类似的。有趣的是许多神经细胞的同步意味着病理性态。但我们千万不能就此得出结论，思维并不与关联效应相关。恰恰相反，这种关联无疑是存在的。如果形象化地用小灯泡来表示神经

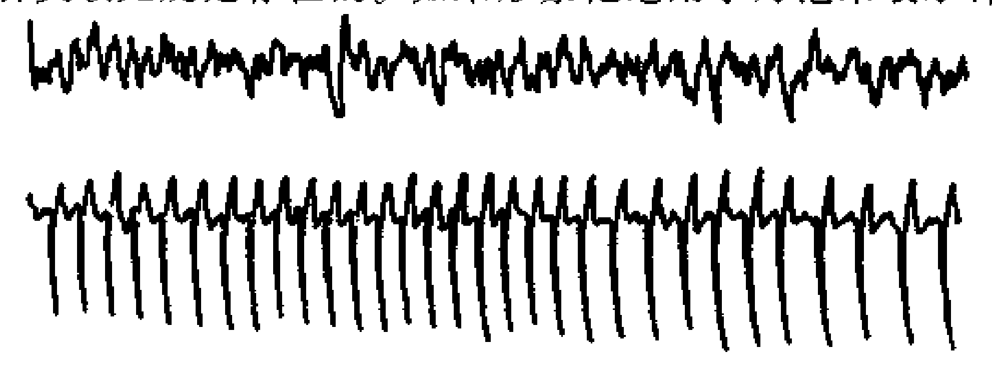
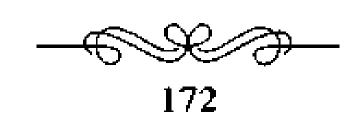


图 14·5　大脑正常活动时的脑电图(上)，癫痫病发作时的脑电图(下)。



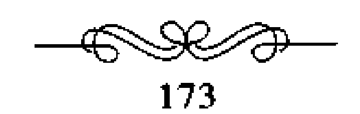


元，当神经元兴奋时小灯泡发光，那么，我们将不断看到一些灯亮一些灯灭，这有点像在做拼板游戏那样把各盏发光的灯拼成一幅有意义的图画，类似于电视画面。暂时我们只能利用比较间接的证明来理解许多神经元同时所起的作用。

## 整 块 思 维

许多事实支持着整块思维这个假设。当我们在国外学习一种外语时，显然不仅常常从交谈中学习整个句子，我们也学习单词。通过变化和更换个别词语，就能构成具有新内容的新句子。然而这样说并不是有意在推荐专门学单词或整个句子的方法。因为当我们学习拼写时恰恰相反的效应起了决定性的作用，也就是分析，即把每个词从一开始就分解为它的组成部分。当然这只是顺便提及一下而已。

整块思维也为象棋大师所熟知。棋盘上有 16 只白棋和 10 只黑棋相对，它们各有不同的职能(象、卒、马、王、后、车)。初学者先学习各只棋子走动的规律，然后在下棋中思考各种走法，并考虑其后果，是否能保住自己的车或将死对方的后。与此相反，象棋大师考虑的却是全局。他们观察各只棋子的相对位置，并根据棋局确定以后各步的走法，而无需研究每只棋子走法的细节。相反，如果出现了新情况，迫使象棋大师这样做时，那么他将会感到很难着手。在这种整块思维方面，象棋大师与会下象棋的计算机之间有着一个重要区别。我们知道，在百货公司里已有能与人对弈的计算机出售，使用这种计算机还可以选择它们不同的弈棋水平。最好的会下象棋的计算机如今只会被第一流象棋大师，例如特级





大师,所击败。这可能使人们想到,这种计算机要比人聪明得多。然而这种象棋计算机击败对手的手段,却惊人的原始。这些计算机只是在大量走法中估计出所有的可能性,而后算出它能最有效地吃掉对手还有一定实力的棋子的数目。与胸怀全局的思维方式相比,这显然是一种十分死板的办法。这个例子已经清楚证明,在计算机与大脑之间有着根本区别。

关于大脑功能的另一个重要方面是:把越来越多的神经细胞放在一个网络里,我们得到一个越来越复杂的组织。尽管如此,通过例如专门激励一个神经细胞,看来有可能使大脑从这种**集体**水平回归到单个细胞的水平。

根据协同学的观点,创造性的工作有了一个新的解释。正像拼板游戏那样,出现在我们眼前的是一幅全新的完整图形。在我们的大脑中出现了类似于意识相变的事,许多以前杂乱无章的东西突然具有了某种规律性。恼人的混乱思想突然变为令人宽慰的确定性。新的洞见早就潜伏在意识之中,但它们是像闪电一样突然显现的。人们不能不注意到这样的印象,这里有着类似于我们从协同学的其他领域中所知道的一种过程在起作用。通过涨落(恍然大悟)出现的一个新的序参数(也即新思想),能够制服、联系和支配各个方面。但这一切又显得完全是自组织的——我们的思想也自组织成新的洞见和新的知识。

也许正是这种事实,向人们解释了大自然中的许多自组织过程。



## 身　和　心

协同学的方法为研究身-心,亦即肉体-精神问题,开辟了





一条新的道路。为了说明这个问题,可将著名大脑研究者约翰·埃克尔斯爵士的观点作为出发点,这是他在1980年在林道召开的诺贝尔奖金获得者会议上发表的。他认为可以通过把人体的各部分看成只是可替换的部件,来解决身－心问题。因此,人的本质可以化为大脑中的某些区域。按照埃克尔斯的观点,这时自我是程序编制者,而大脑是计算机,即只是执行器官。协同学对此得到了不同的结论。根据我们在本书中已阐述过的协同学的观点,序参数与被支配的子系统是互为条件的。按照这个解释,序参数就是我们的思想,而子系统是大脑神经元网络中的电化学反应。我们在本书许多例子中看到,序参数和子系统的存在和作用是相互依存的。在这个意义上,按协同学的观点,归根结底,身与心是相互依存的。

关于通过大脑模型来解释大脑的功能,还有待于最后的结论。看来每种科学的最新进展总被移用到其他领域,以便把那里取得的成果用来类比大脑。从前老是把它类比为电网络或者甚至机械齿轮系。因此过去我们常讲"思维的开关装置",如今当然把它类比为计算机,那么,明天又把它类比为什么呢?



## 大脑是按计划生长的吗?

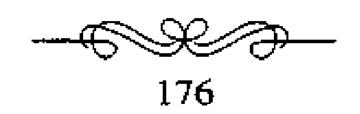
由于对大脑中复杂反应的解释极其困难,研究者们转而寻求其他途径。他们开始研究大脑是怎样生长的?是不是从一开始就有一个明确的预定计划呢?下面简述一下现在的认识水平。在胚胎的发展过程中首先形成由细胞组成的所谓神经管。在这个管子附近形成神经细胞。它们好像是在工厂的流水线上

被制造出来的。但是它们并不停留在这个位置上，而是被送到大脑的其他部位。细胞在其新位置上像粘菌类细胞那样渗透。根据一位美国胚胎学家的说法，它们尔后作层状聚集，并先构成某种如同蚁冢那样的东西。

然而各个细胞怎么会知道它们该去哪里呢？对此我们还了解甚少。然而却有迹象表明，各个神经细胞沿着已形成的胶质细胞向前移动到最终位置。

然而也存在着其他现象，它又强烈地使我们回忆起粘菌类的性态。如同粘菌类细胞中的情况一样，有着某种吸引剂诱使单个细胞，在这里是单个神经细胞聚合在一起。它就是所谓神经生长因子，产生于一定的区域之中，并在组织中扩散。某些神经细胞一旦察觉到这种物质，就会向这种物质扩散过来的方向迁移。在这种迁移过程中，某些细胞可能会迷路而有时死亡。在个别情况下，也可能因为细胞的错位植入而导致大脑的某种疾病。但我们只是对健康大脑的进一步生长感兴趣。单个神经细胞生出分支，有些寻找到附近的细胞，与之建立联系。其他的进一步朝着发展中的大脑的其他细胞生长。毫无疑问，大脑中神经细胞网络的构造是自组织的。按我们所掌握的知识，这种连接是自行产生的，并无高级部门的管制。不同的研究者对这种自组织的运行有不同的看法。也许这些看法都是正确的，但各自适用于不同的大脑部分或不同的物种。这里我们简单地举两种看法，来作比较。

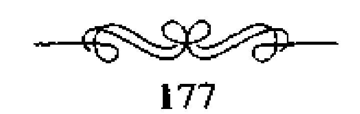
一种看法认为，生长中的分支借助于特定的分子能够识别它们必须与之建立联系的细胞。这可以比作各个神经细胞分别带着不同的锁，它们只能用一定的钥匙(亦即各以不同的自然生长物)打开。常常观察到开始时形成了许多根“电话线”，其总数多于后来实际所用的。多余的那些以后又被收回或死亡，就像




没有正确纳入网络的那些神经细胞一样。

在这种图象中，最后形成的网络就像是按照分子锁和钥匙所指定的计划而编织的。

另一种看法与自组织的思想较为吻合。根据这种看法，细胞之间连接的形成是完全杂乱无章的。但当神经脉冲由感觉器官到达这个网络时，那么它与单个细胞不同，按照使用的频繁程度，形成的联系也自动地有疏密之分，因而网络及其效率都在应用时和通过应用而成长。应用，例如感知的加工，加强了神经系统中的联系。这种观点在文献中称为“赫布突触”。突触是固定的连接点，它就像是神经细胞之间的支站。经常使用后它们会得到加强。遗憾的是，迄今为止并无直接的实验可以说明，例如，经常使用的突触大于其他的突触。认为神经网络仅在应用中才形成的这种想法，对计算机设计者极具吸引力。能否制造在其工作中自动地自组织起来的计算机呢？下章将探讨这个问题。





# 15

# 计算机的解放：希望还是恶梦？

## 二十世纪的神童

机器日益取代人力，这是当代的趋势。不久以前，人们还老是在考虑怎样避免或至少减轻繁重艰苦的体力劳动。我们马上会想起诸如洗衣机、洗碗机、吸尘器之类的家用电器。同样，机器已进入工厂，那些单调的工作，例如包装巧克力，早就为机器所代替。惊人的是，近年来的研究和开发工作最近已转向用机器代替脑力劳动。计算机技术是一个典型例子，虽然计算机的真正“思维”能力常被估计得过高。每一个编过计算机程序的人都知道，计算机十分笨拙，除非为它明确编制程序，否则，它就连最小的误差也无法消除。使用计算机管理账目的雇员也知其一二。计算机中的账目会突然全部消失，并再也无从找到。如果不是事先十分详尽地编定程序，以后就没有人能使计算机显出所需的账目。我们暂且把计算机的智能问题放下，本章后面还会回到这个问题上来。

但除了一些缺点之外，计算机确实做了十分出色的工作。





计算机极可能是本世纪最伟大的技术革命项目。我们过去常听到的是它在科学上,特别是在宇宙航行中的应用,现在则处处碰到它。无论是预订火车座位还是飞机票,预测选举结果乃至找对象,计算机都为我们效劳。不管在办公室还是在家里,都越来越多地要用到计算机,我们的孩子们已经离不开它。以前需要对数表或把一长列数字相加的地方,现在只需要按几下键就成了。装在汽车中,它帮助节省汽油。在通讯中,它用来保证电缆的最佳利用。它进行房屋结构规划,例如指出哪里该有门和电源插座,还按各种极不相同的设想绘出房屋图样,甚至包括房屋周围的树木。计算机计算着桥梁结构并设计住宅区,以及炼油厂。计算机用于培养飞行员和宇航员的飞行模拟器,它指导火箭飞向月球和太阳系最外层的行星。它不仅可以控制机床,还可以控制全部复杂的生产过程。人们也许还梦想着一个中心控制的经济系统,在这里一架超级计算机可能预先计划和控制着一切。然而在这里正可以看到一条界限,即在信息科学家的专门术语中被称为"信息瓶颈"的界限。我们举一个十分简单的例子来说明这个概念。

在多数装有空调器的住宅中室温会自动地调节到一定的度数,即所谓应有值。传感器不断测定室温,即所谓实际值。如这两个值出现差异,空调器就发一个信号给中央供热系统,让它提高或降低热水的温度。

把这个原则移用于一个生产过程或甚至一个十分复杂的经济系统,那么就产生以下这个基本问题:需测量多个实际值,并且计算机必须算出,需进行什么样的控制过程才能够达到应有值。这需要进行很困难从而很费时的计算。这可能旷日持久,使计算机根本不能及时发出所需要的控制指令——全部控制将失败。因为信息不能相当快地通过"瓶颈"。在特殊情况下还能

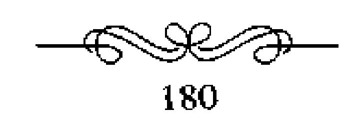
以更快的计算机来解决这个问题,但一般的答案则每次必须于相应子过程的自组织中去找到,即只提供某些重要的数据,以便让这个过程作为一个整体有机地进行。

我们也将在计算机上遇到自组织的问题。为了认识计算机的潜在能力及其可能的界限,我们需要稍微熟悉一下计算机:它"在原则上"是怎样工作的,它如何为我们的目的服务,换句话说,如何为它编制程序?现在就从程序编制讲起。

## 程 序 编 制

从基本原理讲,一台大计算机与一个袖珍计算器并无很大不同。例如需把3与5两个数字相加,那么应用计算器时需先按数字键5,然后按加号键,再按数字键3,最后按等号键,使计算器知道,它必须显示最终结果。总起来说,这意味着我们给予计算机以下形式的指示。取一个数字(例如5),再取另一个数字(例如3),把二者加起来,然后呈现结果。

这整个过程可以分为两大部分,也就是选择具体的数字(例如5或3)以及计算本身。可以把我们选择的数字想象成标有数字的小球,它们分放在各个小盒里。用这一比喻可以把计算过程表述如下:在一号盒中取数字5,再加上二号盒中的数字3,并把结果放入一个新的盒子,比如三号盒中。用这种方法就可以把困难的计算进行下去,例如再把三号盒中的数字与四号盒中的数字相乘,等等。因而每次的基本任务都十分简单,但变动范围却很大,因为我们可以变化一号盒和二号盒中的球数,或者再继续进行这一过程。我们最后可对计算机这样说:把得到的





结果放回一号盒中。用这种方法可以构成一个所谓环路，而使计算过程不断重复，例如计算 2×2×2×2。

对于科研用的计算机，程序员也有这两种不同的任务。他必须说明，计算机需进行哪些具体计算步骤（加、减、乘、除），并且他必须有一个数据存储器，从而使计算机能重复进行同样的计算，但每次用新的数据。

因此程序员的真正工作在于制订计算步骤。数据输入一般说来并不困难。所需要的只是把不同的数字放在不同的盒子里。在很多情况下只需要一个很短的程序，也就是很少几个计算步骤，就能加工很多数据。例如计算银行利息、保险金额、工资和许多其他东西。如果计算任务繁重些，也就是程序长些，那么，在某些情况下，就需要耗费相当多的高水平劳动力。于是就出现这样一个问题：设计一种能自编程序的计算机能否节约人力？不过我们还是先谈谈人工编制程序的问题。

虽然计算的各个步骤都极为简单，但可以把它们以不同方式组合起来。同时还可以内装上面提到过的环路——设计这种环路的目的是为了例如，不断地重复一种近似计算，直到计算结果相当准确为止。这类计算如开方的例子是为对数学感兴趣的人而举的。

计算机会做的事还不止这些，而希望和困难正是从这里开始。如同我们前面在各个盒子中放入数字，以便尔后在计算机中进一步处理那样，也可以在这些盒子中放入各种符号，它们分别表示某种计算步骤。计算机在这种情况下接到指示：从三号盒中取出一个球来，并按这个球的要求去做（事实上计算机当然不像开彩时那样把球摇出来。它有一个数字存储器，并每次由其中的一定部位得到电信号，它对计算机发出命令：做这或做那）。例如，这个“球”可以命令你下一步把现在给你的两个数字

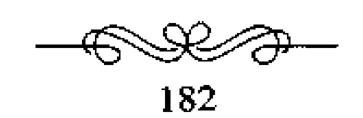
相乘。但它也可以命令你运行某种十分复杂的计算程序。各种不同指示的组合可能使计算机过程变得十分复杂，有时会造就一种特别的程序员，在英语行话中被称为“伐木工”。所谓“伐木工”，指的是这样一些程序员，他们像一个业余爱好者一样，一再编写新的程序，但最后终于搞昏了头脑，直到深夜还满脸通红地坐在计算机面前，不断地想方设法取得新的计算窍门。这种“伐木工”会越搞越糊涂，第二天拂晓他必定发觉，计算机只是一片混乱。这个例子清楚地表明，编计算机程序这件事本身，无疑含有极大的隐患。

“伐木工”遇到的困难，其他程序员也并非不知。因此，例如，一家主要的计算机公司让人们从建筑学角度研究大型计算机的设计问题。然而这种研究毫无结果，从协同学的观点看来，这是不足为怪的。在计算机中不仅有固定的结构，其中也常有必须相互依存和相互作用的各种过程。换句话说，计算机是一个典型的协同系统。

## 计算机网络

今天，一台大型计算机已和许多输入输出点“连接”。计算机终端接到指令，然后把计算结果在终端的荧光屏上显示或打印出来。

但有一种新的趋势正在抬头，它将开辟一个协同学应用的新的领域：人们将制造一些相互联结的小型计算机，来取代大型计算机。原来像工头一样指挥小型计算机的大型计算机为相互“对话”的小型计算机所取代(图 15·1)。由许多小型计算机组





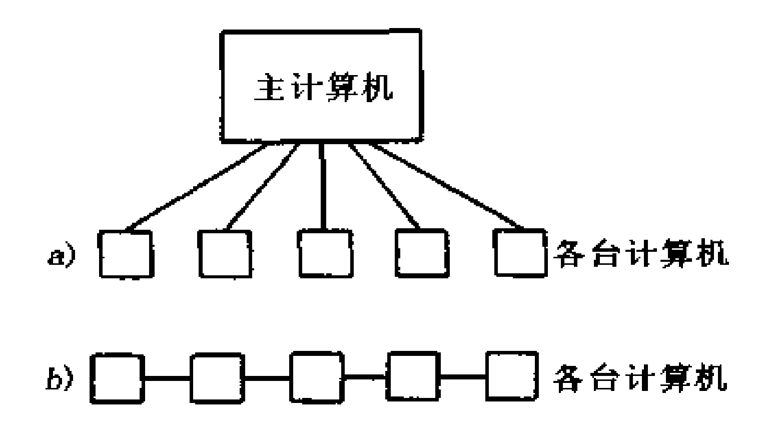
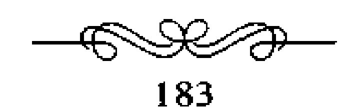



图 15·1　组织的和自组织的计算机。
上：一台主计算机分配任务：组织。
下：各台计算机自行在其间分配任务：自组织。

成的系统有着明显的优点。它们适合于成批生产，并且能够互换，因此较易维修，并可以方便地放在计算机中心或其他机构的各个房间里。这些小型计算机中有些可以设计得完全相同，而另一些则可按特殊需要装备起来，其中一台带着荧光屏，而另一台配有打印机，等等。这里出现了一些新的原则问题，这与我们对这些小型计算机网络能解决多少自组织问题的期望相关。一种可能性自然是把它们固定联结起来，从而实际上又构成了一台大型计算机，这时，各计算机之间任务的分配决定于线路的连接。另一种可能性是计算机相互之间不断自动建立起新的联系。当一台计算机需要帮助时，它就向另一台计算机发出信号。如计算机专家所说，这个信号带有"旗子"。它包含着以下信息：这个信息的来源和目的地，以及"询问"另一台计算机是否已准备好接受任务。在专门术语中，称这时形成了一个"记录案卷"，接受信息的计算机必须告诉发出信息的计算机，它是否已准备好接受任务。这样，在几次对话以后，就可以完成任务的传递。与固定联接相比，这种传递自然要多一些麻烦。在固定的程序

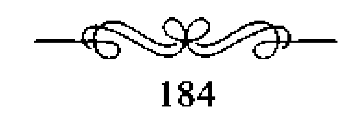



联接与自组织的任务分配之间找到一个最好的折中办法,这是计算机设计者的一项任务。我们现在仍处于这一任务的萌芽时期。计算机在分配它的任务时应同时进行计算,然后再分配新的任务,等等,计算机专家说这是装入了一种“深藏结构”,目的是为了促成这种自组织过程。

但什么是“深藏结构”呢?在这方面,本书中所阐述的结果可能对我们已有所帮助,虽然它们并不是上面提到的“深藏结构”。如我们所知,如果改变外界条件,比方说增加能量输入,那么,例如,在液体和化学反应中将形成宏观型式。对计算机网络也可以期待出现同样的情况。通过给予计算机更多任务,例如增加输入数据的数量,就会自动发生在各台计算机中计算过程的全新分配,也就是自组织地发生。然而这里也会出现我们已从协同学中知道的那些讨厌现象,例如摆动现象。在这种情况下,各台计算机之间的功能分配周期性地波动,从而有大量数据在这些计算机之间来回流动。计算机专家可以从协同学中得到启发,学会如何消除这种摆动。不仅如此,对计算机专家而言,把计算机与大脑神经网络作类比也是有用的。功能的不断分配可使原来松散的联系逐步发展为永久性的联系。这里又是竞争原则在起作用,最有效率的联系得以“生存”而其余的被抑制。这可能导致计算机最终开始整块思维,就像优秀的象棋大师那样(参看上一章)。这些思维块并不一定局限在某一台高度专门化的计算机中。它们也可以分布在多台计算机中。

最终我们可以设想对整个计算机网络加上一些条件,它们的作用与达尔文的适者生存原则相类似,例如某个给定的问题必定以不同的方式去解决,直到网络最终只应用最快的一种解决方案。

只要对问题的提法每次作小小的改变,看来实现这些想法





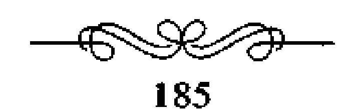
为期已非太远。像其他协同系统中的情况一样，可能会突然出现新“结构”，以致在计算机中出现一种新的功能分配方式。

当需要计算机网络解决一个全新的问题时，情况就显得困难。这里不应期待发生奇迹。如同在日常生活中一样，网络必须首先试用各种不同的解决方案，一面从中学习。

由于计算机会做的事情很多，我们就须自问，与人类相比，计算机的最大弱点在哪里？肯定不在于总是用同样的方法处理许多数据，问题也许在于模式识别。

## 模 式 识 别

模式识别是许多自动化过程的前提。例如一台自动电焊机必须搞清该在哪里把相应的工件焊接起来。如机器需要识别更为复杂的模式，则任务更为有趣。一个熟悉的例子是阅读机，它能解释和辨识手迹。在此，协同效应也起着决定性的作用。作为第一步我们设想把一个字母分解成若干确定的部分，即所谓基元或基本性能(图 15·2)。基元需要选择得能为机器所感知，例如一划或者处于一定位置，并以一定方式弯曲的一个小弧。这种“基元”可用光电管来“扫描”，并可用比较简单的电路来“识别”。对每个处于一定位置的基元可以规定一个数字(图15·3)。就像一具数字锁只有一组数字组合才能把它打开那样，只有与一个字母的全部基元相对应的那个数字组合才能确定这个字母。因此，机器必须检查一下，在它的记忆装置中能否找到一种数字组合，能够恰好表示，例如，字母“A”。困难在于，识别过程中处处可能出错，例如某一个基元未被准确无误地鉴定，又如一





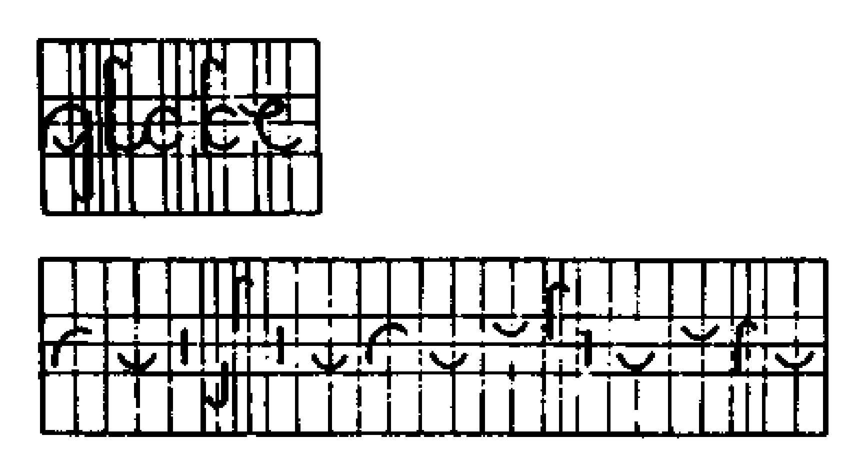


图 15·2　通过分解为简单的组成部分("基元")进行模式识别。

个竖划会同右方开口的弧相混淆。于是我们又回到那个老问题:如何改正一句错句。我们已在激光或液体中遇到过这种演化过程。这里也是如此,开始时完全可能有几个子系统单独行动。例如几个激光原子开始时可能发射"错误"的波,或者并非全部液体分子都参与了滚卷运动。然而这些将由序参数很快地把它们归纳在一般的有序性中。对一台阅读机而言,这意味着,若遇到一个错误的数字组合——这一组合自然不在它的目录中,它就必须寻找最接近于这个错误数字组合的一个正确数字组合。为这种目的,可以发展各种数学方法。这些方法十分清楚,在于把一个数字在坐标系中用点来表示(图 15·4),而后测量这些点之间的距离。此外,在此顺便说一说,又可能出现对称打破的系统(图 15·5)。一个错误的组合可以与两个正确的组合相距同样远。在这种情况下,除非引入一个新的判断准则,阅读机就无能为力了。当阅读机读写下的一个词或一句句子,而它又不能判断,究竟是字母 O 还是 X 时,则由常识可知,只有把一个词甚至一句句子作为整体来看待,才能作出判断。根据语法规则或者常常从上下文的关系加以判断。这个例子表明,在内容起决定性作用的场合,从这一步到下一步的符号识别可能

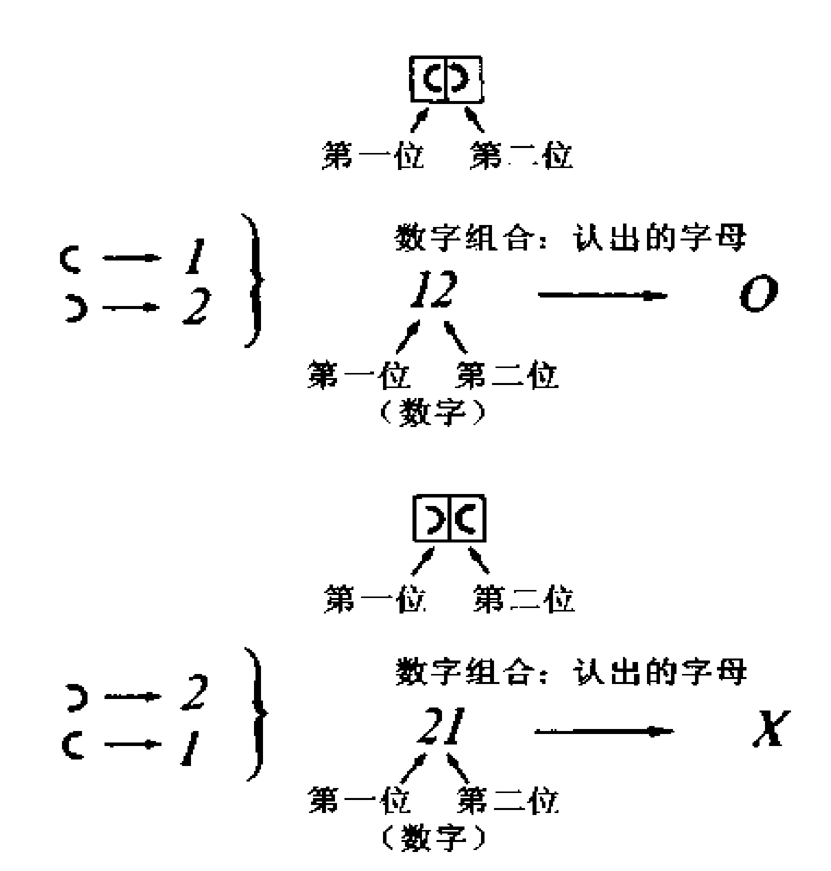



图 15·3　把数字与表示位数的基元联系起来的一个简单例子。

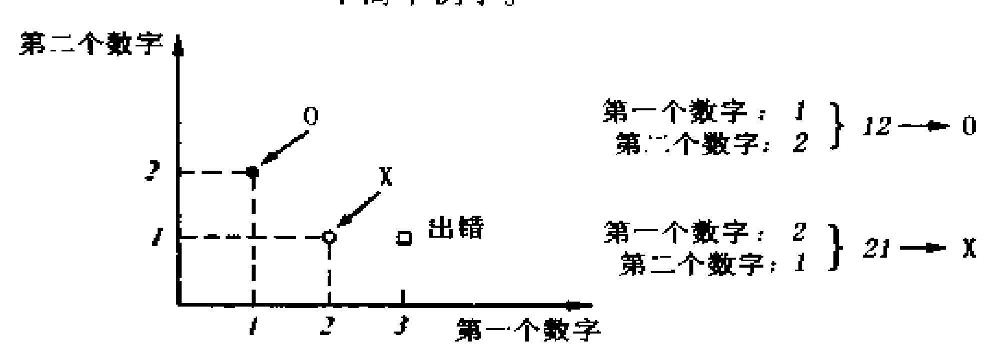



图 15·4　在坐标系中数字表示法的例子。在第一种情况下表示O，在第二种情况下表示X。如果数字组合为3和1，那么这将是一个错误的字母。在实践中必须采用一个高维坐标系。

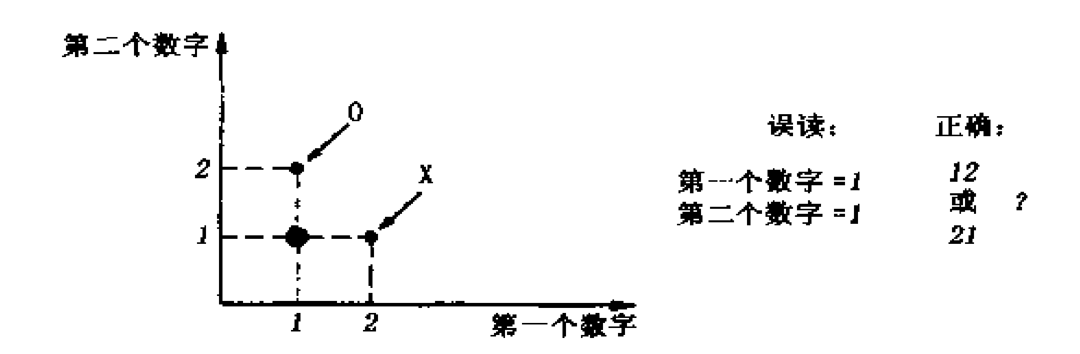



图 15·5　一个错误的例子。阅读机把前后两个数字都读为 1，但实际上可能有的字母只是图 15·4 中的 O 和 X。错误的字母与两个正确的字母相距同样远。为了作出最终选择，必须打破对称。

是一个异常复杂的过程。

这里所讲的方法相对较为死板，因为每次观察到的基元，即例如手迹中的一个弧，必须处于某个完全确定的位置。对于相当规格化的打字机文稿，这个要求还能很好满足，但机器对于手迹却无能为力。因而，人们发展了识别书写符号的方法。这时利用的是，各个弧相互之间必定有某种确定的配置，完全类似于在一种语言或一个句子中的各个词需位于严格确定的位置一样。事实上，将利用一种语言的语法与基元的相对配置之间的相似性，为机器定出规则，机器需据此把各基元组合起来。就像在迷宫中一样，机器一再遇到岔路，但各个基元的相对配置最终将指明道路，以使字母按其本来面貌拼成。

## 感　　知

在上面所讲的情况中，感知究竟是怎么一回事呢？实质上，




我们把一个字母感知为A,并把它规定为计算机中的一个数字。但是,这个数字本身也可以用来作其他的指示。例如一台信件分选机,它按照各个字母赋予"汉堡"这个词以一个确定的数字组合。这个数字组合又可以在计算机中再次用来向信件分选机下达命令:"把这封信送到去汉堡的信件的传送带上"(图15·6)。

**汉堡→数字组合→控制命令**

图15·6

在人类感知方面的一个有趣的特点是,我们能够理解残缺的信息,也就是大脑能自行补充缺失的信息。看来这是我们感知能力的一个重要的组成部分。即使只是隐约提示的形状,也将被同我们熟悉的形式作比较,并对之加以补充。在这里,各项信息的综合又起着决定性的作用。近年来已能设计可进行这种工作的机器,其识别方法类似于前面所讲的字母识别方法。机器,例如,把提供给它的不完整的图画分解为各个基元,并与作为参考的图样相比较,机器同样也把参考图画分解成各个基元。然后机器寻找与提供的图画最为接近的一张参考图样,一旦找到,它就把整张图画复制出来,从而把不完整的图画复原(图15·7)。机器的这种能力也被称为"联想记忆"。起决定性作用的是把各个元素连接成为一个整体,然后使之完善。

机器不但要识别文字,而且也要识别口语。为此,我们把声音转化为电振荡并显示在荧光屏上。在所得到的图案中,其中一连串有明显特征的峰对应于一个音素(图15·8)。机器把这些特征形状与参考图样作比较,以便最终能把口说的字母A转变为书写的字母A。顺便提一下,近年来也能实现相反的过程,即把人们在打字机上打出的字母转变为声音。所有这些例子表明,一般是把由机器确定的各元件翻译成为某个数字组合。这就使我们想起神经系统中的变化过程,不同的感觉印象转变为



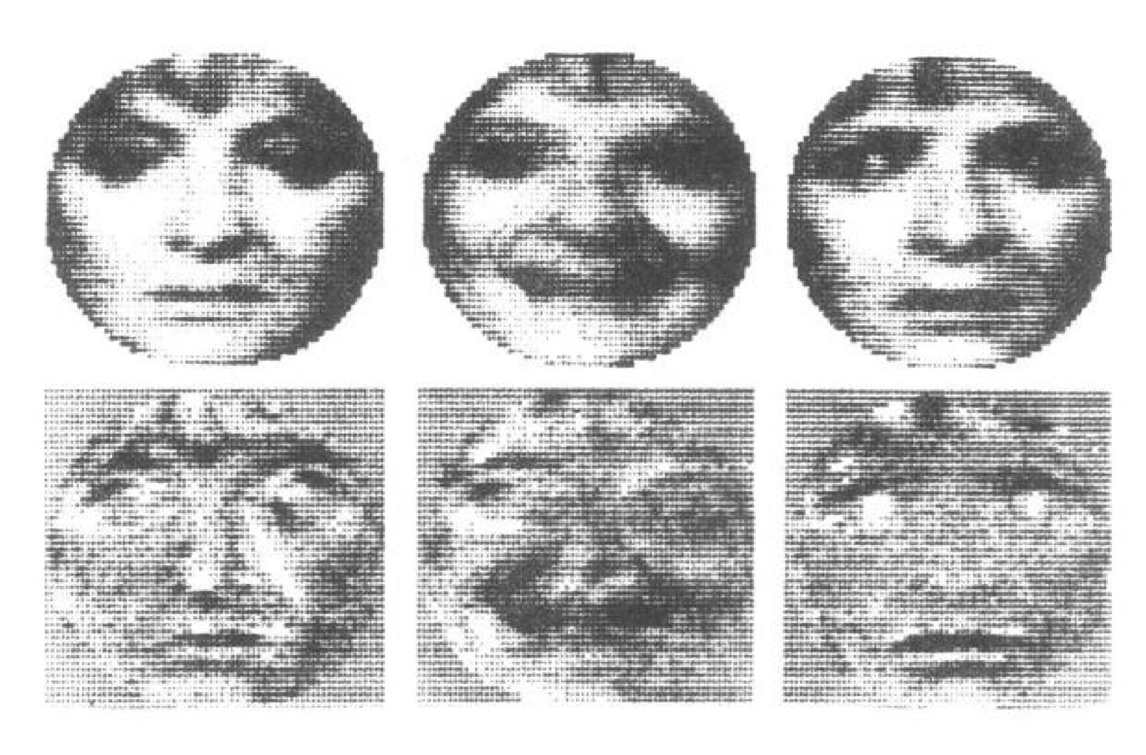



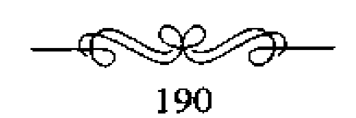
图 15·7　上面一行是存储在计算机中的参考图样，它们描绘了不同的脸部表情。把下面一行图样提交给计算机，它就能复制成上面一行的图样。



神经脉冲，即相同类型的电信号。也就是说，神经脉冲是神经系统用来工作的通用编码。因此，如果说计算机中的感知过程只是电脉冲形式的信号，这些电脉冲传送着，例如，数字组合，我们就完全不必感到奇怪了。

如前所讲，下一步也就是由识别一个字母或一个词到赋予它一定的含义，是本质上全新并且困难得多的一步。这一点当我们把计算机用于语言翻译时看得特别清楚。我们已经看到，计算机可以把一个单词转变为一个数字组合。借助这个数字组合，计算机能像在词典中那样寻找对应于这个外语单词的另一个数字组合，并应用这第二个数字组合来表达这个外语单词。

但当处理语言的细微之处时，真正的困难出现了，例如输入的一个单词可以对应于多个外语单词。当我们碰到一个多义词





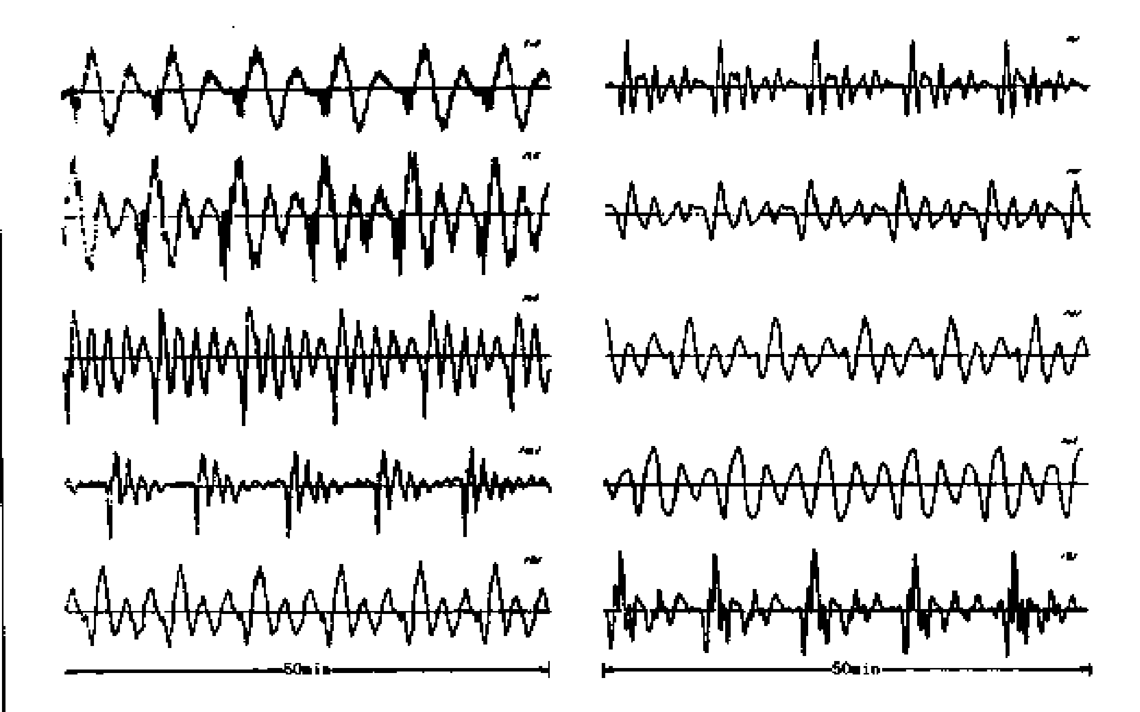
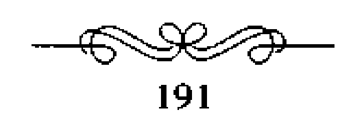



图 15·8　一些英语音素发音的波形图(横坐标是时间,纵坐标是振幅)。



时就初步面临着这种情况:例如 Hahn 可以表示水龙头(Wasserhahn)或雄鸡(Gockelhahn)。这里我们又面临着打破对称这个基本问题:有两个意义完全同等可取,只有根据上下文才能断定其正确的意义。然而机器怎样断定这种上下文关系呢? 这里特别明显地看出,我们面临的问题越来越复杂。在协同学的意义上,机器面临的任务是找到一个适当的序参数梯级序列。因而单个的词必须合起来产生一个意思。它们建立一个序参数。在许多情况下,序参数也能(在某种限度内)把缺损的句子重新"修复",就像激光光波能够使单独行动的乱飞的原子遵守秩序一样。如果一句书写的句子是多义的,那么就要有几个序参数与这个句子相联系。然后机器必须在这个梯级序列中向上移动一级,以便明确地定下序参数。困难常常在于,必须在更高的水平上凭借大量人类的经验,才能"正确"解释这段文字。





# 计算机的内部世界

以上主要谈论了计算机技术中所称的软件部分。现在来看看计算机是怎样具体地进行计算的。我们现在感兴趣的是专业术语中称为硬件的部分。

在计算机中把计算步骤,即被称为逻辑思维过程,分解为多个微小的步骤。这些简单步骤可以是“和”、“或”、“是”、“否”,或者“存储在记忆中”,也就是放在一组小盒子中。借助十分简单的装置就可以实现这类逻辑功能。在公园里我们常常可以看到用水力推动的活动装置(图 15·9)。水由上方流入一个容器中,这个容器在一定的水量下倾覆。然后水流注到新的容器里,如此继续下去。乍看起来这些容器的运动似乎是完全无规则的,但审视片刻便会发现,各次倾覆都遵循确保逻 辑步骤的严格规律。对这类活动装置我们举一简单例子。设有两个可以盛水的容器,我们把两者如图 15·10 那样连接起来,并使水能流入一个满溢的容器中。由上面两个容器出发可以最终到达第四个即最后一个容器。如果上面两个容器原来是空的,那么下面的容器也是空的。如果上面两个容器中的一个是空的,那么下面的容器也还是空的。只有当上面两个容器都被灌满时下面的容器才会是满的。也可以说:在上面两个容器 1 和 2 都被灌满的前提下,最下面的容器也将会灌满(图 15·11)。这也许是逻辑关系“和”的一个最简单的演示。两个前提条件都需满足。生活中的许多变化过程都是按这种关系进行的。煮鸡蛋时必须:1.把水煮开;2.把蛋放在开水中至少煮,例如,4、5 分钟才能把它煮熟。







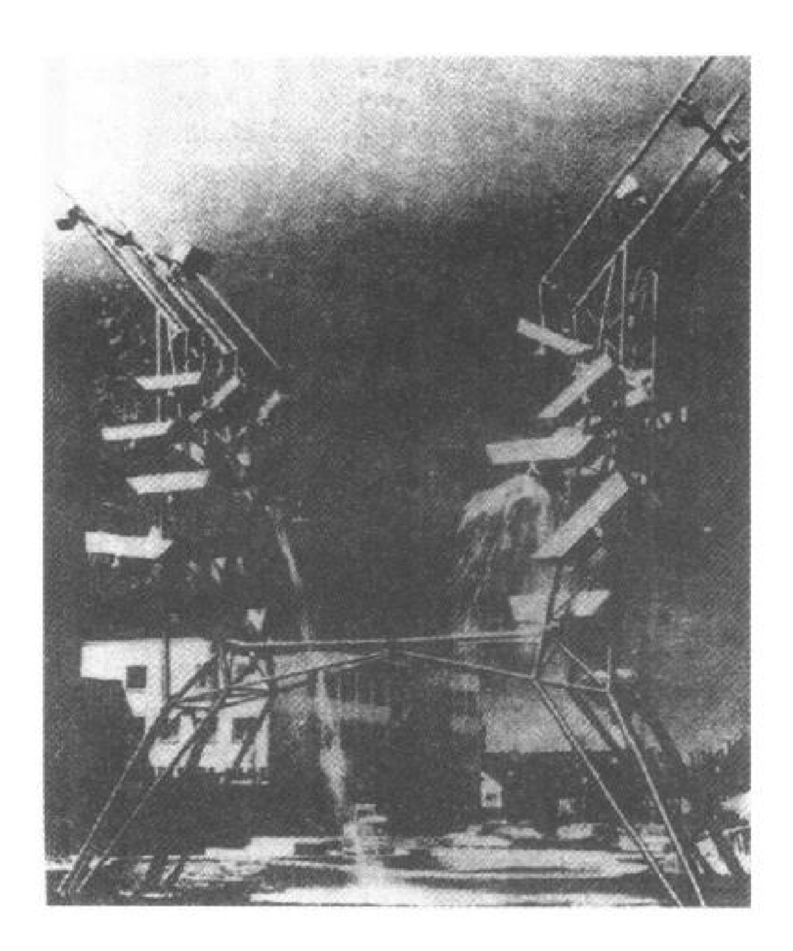


图 15·9　活动装置

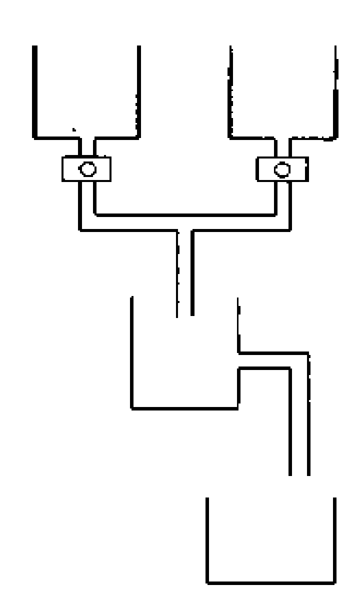
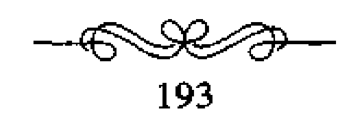


图 15·10　实现逻辑关系"和"的水流线路一例。仅当上面两个容器灌满水时，下面的容器才会灌满水。



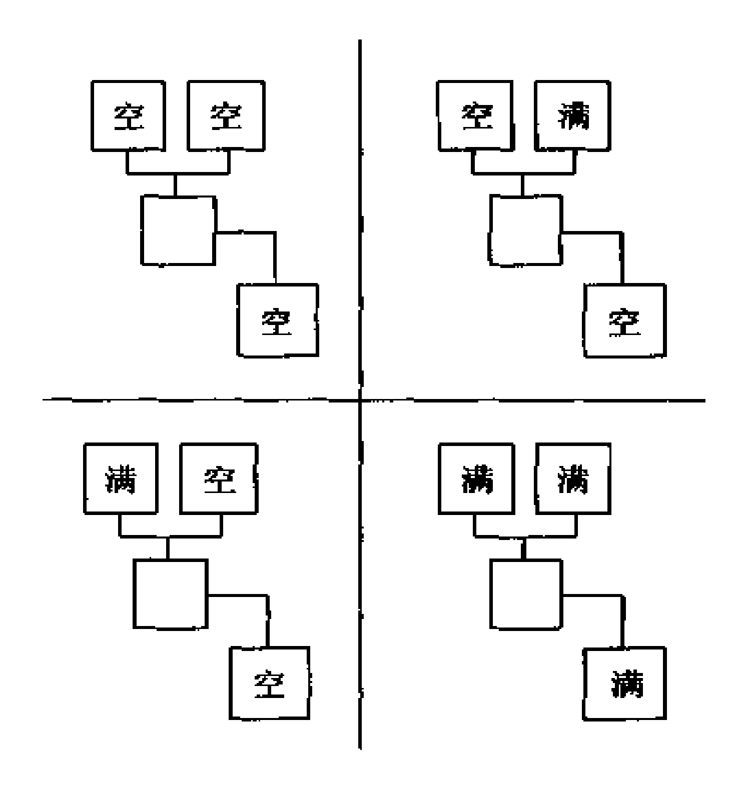
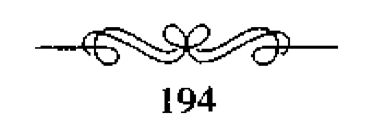




图 15·11　这张图表明，用盛水容器如何实现逻辑关系"和"。

(这个例子并不完全恰当，因为鸡蛋怎么才算煮熟，与个人的口味有关。然而在数学中并非如此，在那里，这类事情是有严格的逻辑规定的。)

另一个活动装置是关于"或"的一个很好的例子。这个装置几乎与上述例子相同，但水不再流入最下面的容器，而是由中间的容器就流走了。还有一个溢流装置排出多余的水。当上面的两个容器之一曾被灌满时，下面的容器便会是满的(参看图 15·12、15·13)。

数理逻辑学说明，所有逻辑过程都可以用很少几个基本步骤如"和、或、是、否"来表示。但我们不拟在这种过于抽象的思维上停留太久，而是看看这种逻辑关系可以怎样应用于实际计算，亦即数字计算。为此我们需进入计算机的内部世界，在外行人看来，它简直是一个神奇之境。



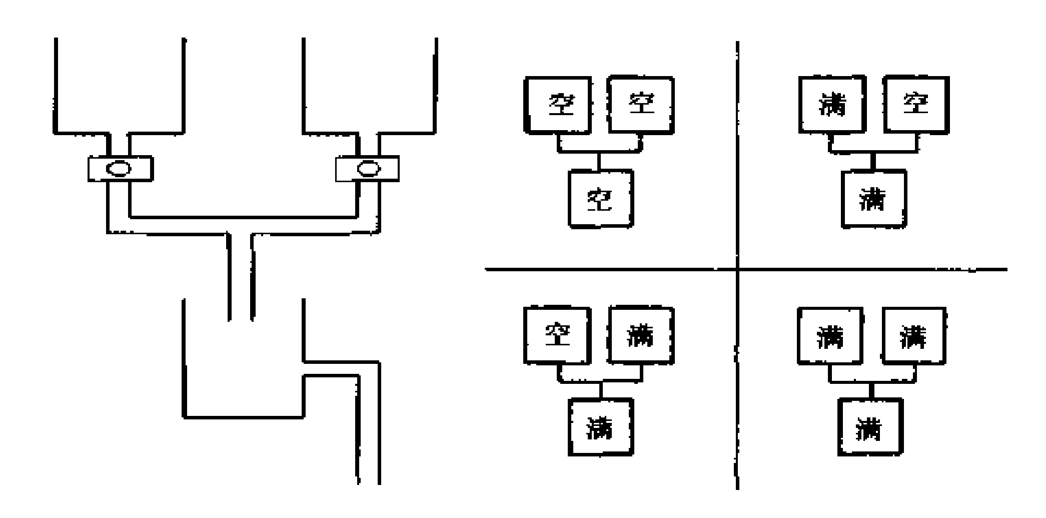




图 15·12 关系"或"是这样体现的。若上面的两个容器之一曾是满的，那么，下面的一个容器便会是满的。

图 15·13 本图说明了图 15·12 的各种可能性。



数学家证明，所有的数字都可以用 0 和 1 来表示，这就是所谓二进制系统。所有数的计算法则也可以用二进制数字的加、减、乘、除来表示。

现在我们惊讶地发现，计算机的各部分好像是用一种原始语言相互联系的。计算机的信号只由两个数字 0 和 1 组成。由逻辑关系"和"立即可以看出，计算机怎样把数字用 0 与 1 相乘。我们想看看，计算机怎样做乘法，并证明它做对了。我们需校核它得到的结果是否与我们用别种方法得到的结果相同。每个小学生都知道，$0\times0=0$，$0\times1=0$，$1\times0=0$ 和 $1\times1=1$。这些法则可以由我们的水动计算机精确地加以模拟。用空的容器表示 0，满的容器表示 1。若上面两个容器是空的，那么显示最终结果的最下面的容器也将是空的。于是就证明了计算确实是按 $0\times0=0$ 的法则进行的。把一

个容器灌满水,而另一个仍是空的,那么,最下面的容器还是空的。这就证实了 $0\times1=0$ 这条法则。把两个容器都灌满水,那么,最下面的容器最终也是满的。这样就证明了 $1\times1=1$ 这条法则。我们现在可以说已掌握了计算机的乘法表。其他计算法则如加法,也可以借助这种水力活动装置来实现。

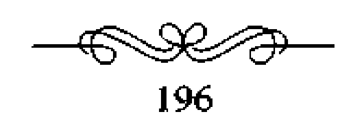
这里的水流线路稍微复杂些。对此感兴趣的读者请看示意图(图 15·14a 和 b)。借助这些简单装置很容易证明,计算机可以根据十分简单的规则来实现所有的计算步骤。

这种用水动装置来说明计算机工作的想法,似乎有点牵强附会。但在一些计算机公司中确实提供这类液压装置形式的小型计算机。

从示意图中我们已经同时看到,就是简单的运算"和"也需要较复杂的水流线路。如果再考虑让计算机进行稍微复杂一点的乘、除或其他运算,需要的水流线路就更多,也许会一下子塞满一座摩天大楼。于是会想到去请教物理学家和电气工程师,能否制造别种尺寸小得多的线路。然而如果需要大量元件,以及很多运算步骤,那就必须同时努力使各步骤在很短时间内完成。幸运的是物理学家早就发现,可以用水以外的其他方式来制造线路。我们在本书开头就已谈到过电子这种运载电流通过金属的最小粒子。这些小粒子不只能被输送,而且也能被储存进我们大家熟知的电池和电容器中。

在上面的例子中,水流是由于重力从一个容器流入另一个容器的,我们也可以把电子从一个容器——比方说一个电容器,输送到另一个电容器,只要使电子"滑下"一个电势梯度。水与电子之间的这种类似,使得工程师能把所有我们在前面已提到过的线路借助电子学来实现。

近年来,在技术上一再出现真正的奇迹,制成的线路越来越



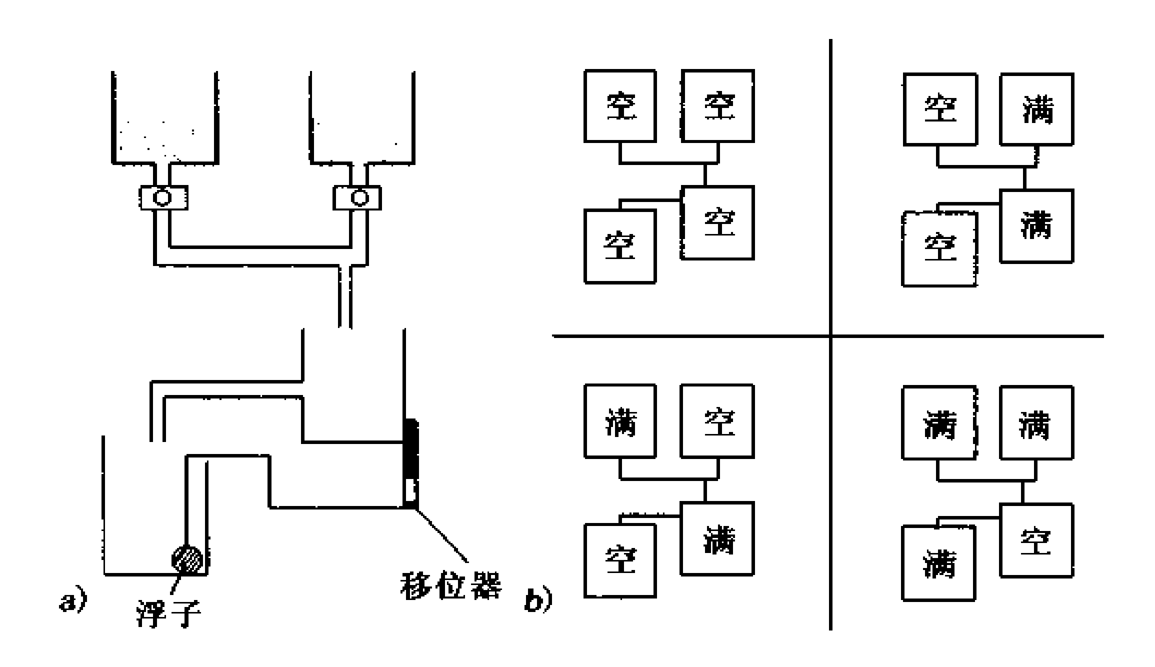




图 15·14 做加法的水流线路示意图。

(a) 表示数学上的加法是怎样实现的。上面的容器是满的或空的,分别对应于数字 1 或 0。最下面的容器的灌水情况表示所谓二进制系统中的数字。下面我们只谈及底下的两个容器。如果两个容器都是空的,那么这表示 0。如果左面的容器是空的,右面的容器是满的,那么这表示 1。如果左面的容器是满的,右面的容器是空的,那么这在二进制系统中表示 10。在常用的十进制系统中,这对应着 2。

我们现在试根据图 15·14b 来说明,怎样借助图 15·14a 的安排来做加法。

如果两个容器都是空的,那么这意味着把 0 加到 0 上去。自然下面的两个容器都仍然是空的。如果左上容器是空的,右上容器是满的,并打开这两个容器下面的阀门,那么右下容器将注满水,而左下容器仍然是空的,相应于加法的结果为 1。

如果左上容器是满的,右上容器是空的,那么情况自然完全相同。

如果上面两个容器都是满的,这时情况特别有趣,也就是 1 加 1。放空上面两个容器中的 1 个,那么右下容器便注满了水。如把上面另一只容器的水也放下去,那么右下容器中的水将会溢出,左下容器从而也灌满了水,这时移位器就会向上移动。于是右下容器将出空,最终得到图 15·14b 右下所示的结果,它正好表示了二进制系统中的 2。从而这种线路确实能在二进制系统中做加法。通过这些线路的适当组合,还能把比 0 和 1 复杂的数相加,然而基本原理实际上还是保持不变。

(b) 线路(a)的逻辑步骤。

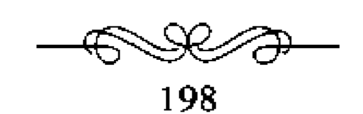
小。在六十年代，计算机还是用电子管制造的，电子管的大小和形状都与白炽灯泡差不多，每个电子管都只起一种功能，类似于上面所说的水动元件。美国的电子数字积分计算机有 18000 只电子管，重达 18 吨，造价 160 万德国马克。现在能把一万个元件（每个都具有以前的电子管的功能）集装在 1 厘米直径的薄片上，价值 10 德国马克。同时，开关时间越来越短，目前是一亿分之一秒。①

继电子管以后是半导体元件，即所谓晶体管，它不仅应用于无线电和电视机，而且也进入计算机技术之中。用超导线路，所谓约瑟夫森结（Josephson-junctions）制造的新一代计算机，可能比一个香烟盒还小，但必须保存在接近绝对零度的超低温中才能正常运行。只要温度升高几度，它就失去了记忆和“思维”能力，它的这些能力要比今日的计算机强好多倍。

## 逻辑过程——与材料无关

协同学在这里又进入角色。在本书中我们一再遇到序参数这个概念。协同学表明，我们所说的序参数本身受逻辑过程的支配。例如在我们刚刚讲到的情况中，各结构元件不同部分的电子密度就是序参数，它们表征了宏观状态。通过上述线路可以让这些序参数相互作用，并导致新的序参数的出现。协同学结果的有趣之点在于，序参数之间的这种转换可能以极不相同

① 这是本书写作时（1981 年）的水平。现在元件的密集程度约提高了一个数量级，而开关时间则降低了一个数量级。——译者




的各种方式进行，并且常常是由一个系统自发发生的，无需人为地制造一个线路。因而现在也可以利用激光来实现计算机线路，这就使开关时间有希望缩短到万亿分之一秒，也就是现在可以设想的最短开关时间的万分之一。计算机线路也可以通过化学反应来实现。当我们寻找更小的计算机元件时，这种想法是特别重要的。这样我们马上就涉及原子和分子的尺度。生物界向我们提供了也许是可能想象的最小的计算机元件的标本。这就是细胞膜，特别是神经细胞膜。这种膜由伸展的分子组成，每个分子都好像有头有尾，其中一些分子朝水的周围伸展，而另一些则相反。这些分子临水排列，就像士兵们整齐列队（图 15·15）。这些薄膜可以人工制造，其厚度只有一个分子那样长。另有一种分子可以使这种薄膜中的孔打开或闭合，从而使带电的原子或其他分子得以有控制地通过（图 15·16）。用这种方式也可以制造具有逻辑功能的开关元件。也许不需要多长时间，就可能制造这种原子尺度的计算机元件，甚至整台计算机。

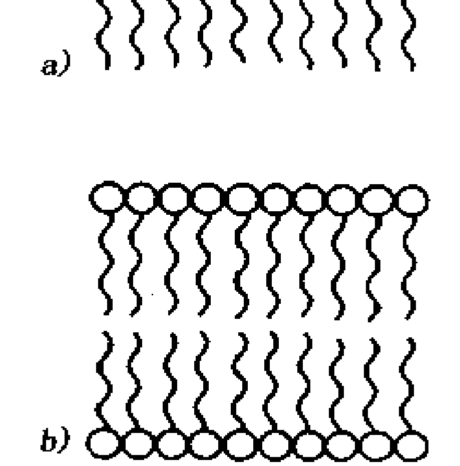


图 15·15 膜的例子。
a)单分子层
b)双分子层

这种微观水平上的控制过程也符合协同学的规律。它们几乎都只是通过许多部分的协作而造成的效应。这就展示了令人鼓舞的前景。我们看出，逻辑过程，也包括思维过程，可以在完全不同的实体中进行，可以是水，也可以是电子，还可以是化学过程、激光或生物分子。这样考虑问题，我们就进入了计算机的内部世界，它的各个组元我们已仔细"透视"过。但我们不能错误地认为，所有思维过程都必须与这

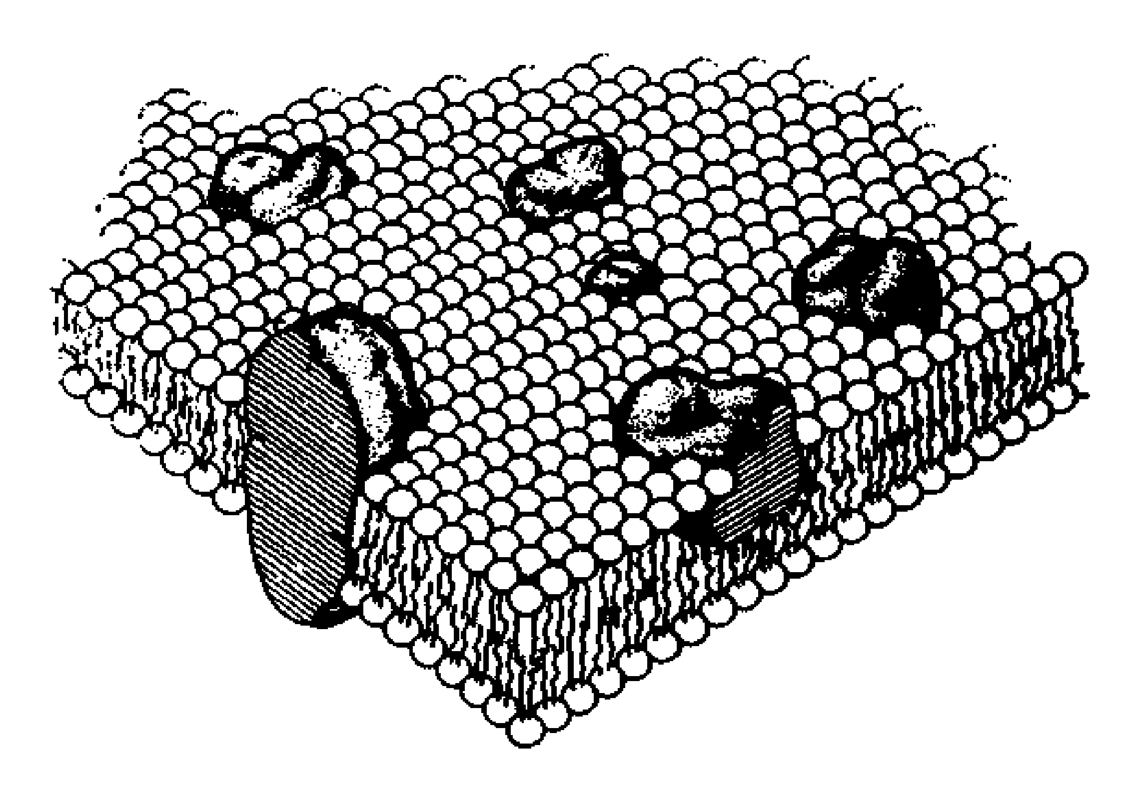


图 15·16 带有嵌入分子的生物膜示意图。

个类型微小的逻辑步骤相联系。思维过程也许还有可能按其他方式进行,对这些方式我们现在还根本无法想象,例如,可能有一种不能拆成微小逻辑步骤的思维过程。

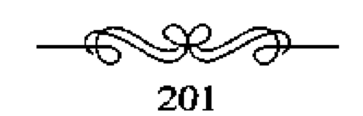
## 计算机会变幻莫测吗?

我们把计算机看成是一台无生命的机器,它按严格编定的程序工作,毫无自由,没有不确定性。然而在本书中我们已看到一些问题,它们并不只有一个解答,例如在必须打破对称的场合:在双谷底的碗中球滚向何处(参见图 10·1)? 在感觉问题上

图中是花瓶还是人脸,应当以哪一个为真(参见图 10·2)? 如果给计算机出这类题目,它也会束手无策。为了得到问题的答案就需要考虑偶然性。我们必须以几次随机波动推动计算机进行下一步计算或解答其他问题。计算机的波动是预先编好程序的。即使我们没有故意把这些波动编进程序,计算机提供的解答还是会变幻莫测的。特别对相应于心理学领域的复杂过程来说,可以预期如此。那里出现的冲突永远是接连而来的。

这引起了这一问题:计算机的高级思维过程能进行到什么程度。在识别句子的例子中我们已经表明,在字母→词→句子的意义的梯级序列中每上升一级,每上升一步,难度都将提高一层。看来,计算机在能力、横向联系或者说联想方面,还远远落后于人脑。但不能排除以下可能性:计算机不仅在其能够处理的资料的数量方面,而且在处理资料的方式方面,终有一天会超过人脑,但这一点暂时还难以想象,虽然目前已有一个所谓"人工智能"的现代研究分支,也并未改变这种情况。尽管如此,还是让我们的想象力自由驰骋吧!某些计算机已能在一定范围内说话,并在一定限度内识别简单的词或句子。然而计算机可以与人相像到什么地步?计算机可以有感觉吗?它可以有自觉意识吗?这些问题已超出了协同学本身的范围,因为协同学首先是以自然科学为对象的。虽然如此,还是在这里提出几点想法,主要是为了激发读者进一步思考,而不是给出现成的答案。

我们人类究竟是凭什么才可以谈论自己是有感觉的呢?一方面,因为我们自己亲自体验过这种感觉,另一方面,也因为我们能把这种感觉告诉别人,并在某种意义上描述它们。这种告知别人自身感觉的能力,自然是以别人也有类似的感觉为基础的。这里我们实际上已作了以下假设:一个人的感觉与另一个人的感觉是相同的或至少是相似的,否则他们就无法了解这些

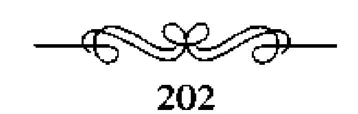



感情的性质。我们也许能够用某种方式客观地检验这一点。这只是一种可能性极大的猜想,但无法进行验证。在我们讨论计算机是否有感觉之前,首先应探索一下生物界中的情况。我们也许会认为所有较高级的动物都有感觉,特别是痛感,虽然也许不像人那样强烈。对于植物,情况已完全不同。我们砍树、摘花或收割谷物,却从不顾及这些生物是否有感觉,因为植物不会告知我们什么。动物却能这样做,它们吼叫、退缩或反咬,对痛苦的感受作出反应。

这些情况说明,只有在同一物种之间并能交换信息时,才能谈到感觉。然而计算机在其发展过程中能否越来越像人呢？人们已能用比较简单的方法制造一台模拟感觉的计算机。事实上,所需要的只是加入一个线路,使计算机做以下的事情:如果计算机的某一元件超载了,它就说:我〔某处〕痛。这现在已能毫无困难地做到。但计算机真有这种感觉吗？它真感到痛吗？对此大概我们人人都会说:不！这种表达方式是人为地造成的,计算机仍旧是无生命的东西。

但如果计算机能自编程序,并能从它的周围环境学习,那么将会发生什么呢？例如可以制造一台诊断计算机,它能倾听患者口述“痛苦”或“疼痛”,也许还有“愉悦”。计算机能够搞清这些词的意义,以及当某一元件失效或超载时会说“痛苦”,这只是小小的一步。然而计算机真有痛感吗？我们大家一致回答或许将是“不”。这个词是由人类设计师加进去的,计算机仍然是无生命之物。

我们看到,在这里人与机器之间的转化可以变得非常模糊,也许要不了多久,就像今天有人权那样,将有机器人权和机器人保护条例。也许机器人权将比人权更受到重视(机器人是昂贵的!)。这在今天听来也许是想入非非,但完全可以清晰地想象计算机更加像人的一个时代终会到来,那时对于这些问题将有





更热烈的争议。不要忘记，现在已有一些使外行人倾倒的计算机，以致他们感到精神受到压抑时，会去向它请教。我这里所说的是魏岑鲍姆设计的计算机埃丽莎，它向患者提出问题。魏岑鲍姆发现，他的女秘书也信赖这台计算机。计算机的诀窍原则上十分简单。例如使用者(为了不说“患者”)说“我与父亲相处得不好”，那么计算机就会按所编程序回答：“请您再说些关于您父亲的事。”编计算机程序时所用的真正诀窍在于，让患者一而再、再而三地讲他自己的事。这种计算机给人造成的印象十分深刻，甚至有些心理治疗医生考虑是否在临床实践中把它包括进去。但它的创建者魏岑鲍姆却从未想到过这样的事，相反，他认为把这种必须用人的判断力才能完成的任务托付给计算机是危险的。就是最聪明的计算机也不能让它去作伦理学方面的决定。让计算机的决定深入到道德和伦理学问题中，譬如在极端情况下让它作出关于战争与和平之类的重大决策，是一件愚蠢而不负责任的事情。

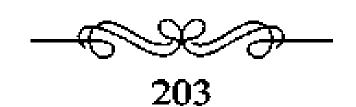


## 不要抛弃思维

在其他情况下也需要十分小心。我们一再听说世界模型，也就是计算机预测近50年或100年内经济发展情况。我们这里所说的是由福雷斯特①和他的小组提出的世界模型，或者罗

---

① 福雷斯特(J·W·Forrester，1918—)，美国电机工程师和管理专家，发明计算机的磁性信息存储器。他首先把计算机用于企业管理。——译者




马俱乐部①研究世界能源问题的计算和许多其他研究。照我看来，这些研究的价值在于提醒人们注意，我们的资源是有限的，其中的一些也许行将耗尽。另一方面，如协同学指出的，正是复杂系统常从一种不稳定性漂流到另一种不稳定性。计算机的计算结果可能在很大程度上取决于一些起初以为是微不足道的因素。关于原材料分配或生产过程、流通等方面的微小不确定性，就可能导致最终结果完全不同，我们通过本书混沌一章中的几个简单例子对此已有所说明。因而更重要的常是，不要把过分大量的数据输入计算机中，让它用我们无从看到的方式进行处理，而是首先搞清各个步骤的性质。这里重要的是发展一种“感觉”，知道什么是“重要的数据”。无疑，在处理复杂问题时，我们务必谨慎从事，以便使计算机在应用得当时能给予我们巨大的帮助。但是无论你怎样计划和预测，我们总要对可能出现的意外情况作好准备，不论它们是好的还是坏的。



① 本世纪二十年代一个由企业家、经济学家、科学家组成的国际团体，定期就有关粮食、人口、工业、环境等全球性问题作出报告和预测。——译者





# 16

# 科学感知的原动力——科学家之间的竞争

我们最初接触科学也许是在学校读书的时候。所学的课程都涉及科学，诸如历史、物理、生物、数学和物理学——仅举几个例子。我们感到，科学是很早以前就已独特地、牢固地建立起来的东西。富于探索精神的年轻人对此感到沮丧，因为似乎所有一切都已发现和探究过了，地球的每一个角落都已被翻遍，再也没有研究的余地了。

但与此同时，我们有时听说又有了全新的发现或发明。如发现了一颗亮度在不规则地波动着的新的恒星；证实了一种称为胶子的新的基本粒子的存在；用新的激光光源可以在厚钢板上打洞，或者在数学中研究了一百多年的四色问题已经解决。四色问题看起来很简单，许多十足的外行都一再试图解决它。但他们的努力与许多杰出的数学家一样，都告失败。这个问题用几句话就可以讲清楚：印制地图时需把相邻的国家分别用不同的颜色加以标记（图 16·1）。如果在一张地图上绘上许多国家，那么人们可能会想，印制地图时将需要多少种颜色。但印刷工人在上世纪末就通过摸索发现，任何地图只需四种颜色就够了。这就给数学家提出了一个问题：是否任何一张想象得到的





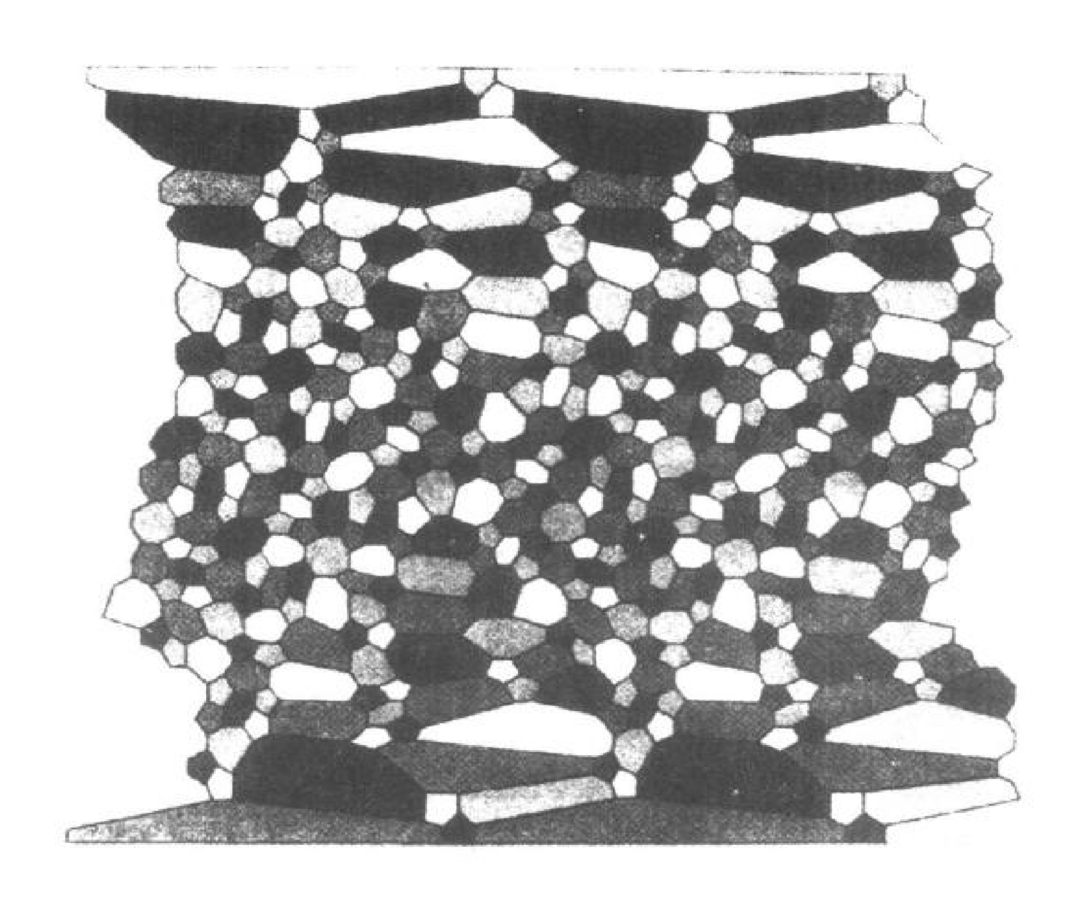
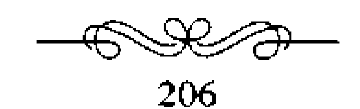


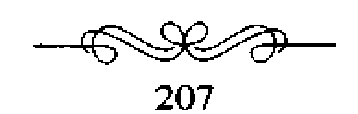
图 16·1　关于四色问题的一张地图的例子。这里的四种颜色分别是白、黑、浅灰和深灰。

地图都只用四种颜色就够了，或者有没有一张地图必须用到四种以上，例如五种颜色。经过一百多年，只是在几年以前，肯尼思·阿佩尔和沃尔夫冈·哈肯才成功地解决了这个问题，他们编制了程序，让计算机自己去完成需要证明的细节。在这些和许多其他例子中，科学都从一种意想不到的角度面对我们。常常是个别的伟大发明家和科学家改变了世界面貌。爱因斯坦在本世纪创立的相对论，完全改变了我们对空间和时间的观念。而海森堡和薛定谔建立的量子理论，则为我们展示了原子世界的全新图景。克里克和沃森发现双螺旋体是遗传信息的载体。研究者和有抱负的科学家沉没在各种研究刊物的浪涛中。我们被



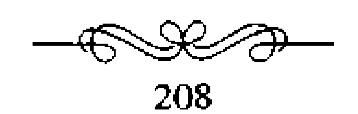


来自各方的新知识和新发现的洪流所淹没。全世界每天有17000种书籍和文章问世。乍看起来,科学像是一种静止和完备的东西,而更仔细地观察,就会发现它处于难以置信的运动之中,或更明确地说,处于进化之中,处在不断前进的状态之中。我们发现协同学中经常用到的观点在这里是适用的。从本书中已经研究过的各种不同现象中,我们注意到,存在若干由外界影响所形成的发展阶段,在这些阶段中系统或多或少平稳地向前发展。然而在某些情况下,会出现全新的宏观有序状态。著名科学史家库恩在他的《科学革命的结构》一书中所描述的观点,正好与协同学的一般图景相吻合。库恩在他的著作中把通常的科学与科学中发生的革命区分开来。通常的科学也向前发展,但它是稳健地一小步一小步前进的。科学把已有的知识拓宽加深。例如在桥梁建筑中有着大家早已熟悉的物理定律,在此基础上发展了新型桥梁结构。也许并未出现本质上全新的东西,但仍不失为科学和技术的一种进步。或者进行了某种物理实验,以便,例如,越来越精确地测量光速;在生物学中进一步研究了如何透过细胞膜传送电荷,等等。这种研究有时也导致全新知识的出现。例如在世纪之交曾有许多迹象表明,力学规律不能应用于原子中的电子运动。在那里根本不存在稳定的原子,环绕原子核运行的电子,最终必然落进原子核中。也就是越来越多的迹象表明,现存的一些定律是不正确的,或者它们只在一定的范围内适用。协同学声称,科学是一个开放系统,新的发现或新的观点被不断馈入其中。新发现和新观点,可以尖锐深刻到破坏有关的自然科学分支的现有形象的程度。科学家们变得没有把握了。在协同学的意义上,这时越来越强的涨落正以新观念和新实验的形式出现,它们找到支持者,从而得到加强,有时却又被摒弃,直到最终出现一种能说明更多现象的新观点,而





终于为科学家们所接受。一种新的科学思想,例如前面已提到过的量子理论,导致了库恩所说的一场科学革命。根据协同学,这种把许多以前无联系的东西协调起来的新观点就是序参数,它被库恩称为"规范",具有我们熟悉的协同学中其他序参数所具有的全部性质。它本身"支配"着科学家们的进一步工作,他们根据这种观点来巩固、开拓和加深根据这种新观念所采取的科研方向,从而又回到"通常"的科学工作上去。反过来,科学家们通过他们的工作继续传递这一新观念即新的规范,因而保证了序参数的存在。从一种科学认识到另一种认识的转变犹如相变。新的观点、新的基本原则或规范在思维中产生了一种综合性的秩序。这类序参数有时可以通过发现而由外部引人科学中。但它们也可以像流行款式那样随着时代的风尚而出现和消失。不能否认,在科学观念与其他时代文化潮流之间,有着密切的相互关系。例如,宗教和哲学思想与科学认识之间的深刻分歧并非罕见。我们从协同学知道,序参数支配着子系统,这里是指各个科学家。在科学中确实出现这种情况。一种科学分支的正式存在,总需得到相当数量的学者的承认。科学分支创造自己的语言,这种语言对有关的科学家来说是共同的。外界人士,也包括其他学科的科学家,几乎不能理解那些关于医学、计算机科学或数学等的专门语言。因而科学分支是稳定的。它的基本观点看来是像冰冻般地稳定,一部分观点被下几代的科学家们不加考虑地接受下来。但这种情况特别给年轻的科学家们造成了极大的困难。对他们来说,在专业杂志上比较容易发表他们那些不越出传统框架的研究成果。与之相反,发表全新的、非传统的观点并找到对此的支持者,是困难的。年轻的科学家们从而陷人真正左右为难的困境中。为了成名成家,他们必须具有并发表非传统的全新的观点。但杂志的评审制度,即每篇来稿





必须经过评审,然后就其采用或退稿,亦即是否发表作出决定的制度,却是一块巨大的绊脚石。归根结底,评审者属于老派。然而在这里也偶有例外,在物理学界中,要有马克斯·普朗克这样的天才,方能发现爱因斯坦的天才,并由他来为爱因斯坦铺平道路。

诚然,我这里把确立新观点的困难稍稍夸张了一点。为了推进科学,即使在其日常运行中也需要花极大的气力,而科学家难得有机会抓住一个确实是根本性的观点并予以确立。但这在其他协同学的系统中也多半如此。只有在某种新观点的时机已经成熟时,它一旦被提出,才能很快为人们所承认。这种"成熟性"常常在许多类似的有时甚至是相同的观点不谋而合地为不同的科学家所提出时方显得明朗。虽然每种专业总有几个知名的科学家,科学毕竟是一项集体的事业。各种科学成就是由大量科学家,最后甚至由他们的门徒和学生而传诸后世的。相反,各个科学家的工作又是以上一代科学家的工作为基础的。这种共同性,使科学可以接纳一门新的学科,即科学的社会学。其奠基者之一,罗伯特·默顿,以既科学又对读者有吸引力的方式描述了科学中的大量社会关系。有两个要素贯穿于他的著作的各章节之中,那就是科学家为了首创权而斗争以及"马太效应"。深入地研究起来,正如上面所指出的,一种新发现并不总是个人的工作。常常有许多学者进行激烈的争论,以便搞清谁先作出了新的根本性发现。历史上充满着许多几乎是同时完成的发现。例如微积分是差不多同时并彼此独立地由牛顿和莱布尼兹发明的。在生物学中,达尔文和华莱士同时提出了进化论的基本原理。达尔文与华莱士当时是友好相处的;牛顿却力图证明,莱布尼兹窃取了他的思想。就是这位鼎鼎大名的牛顿最终也只能承认,能量的概念来源于他的同胞胡克。





这使我们回忆起本书第157页已引述过的卢梭的话。

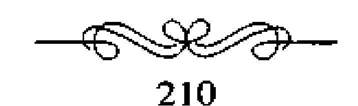
那么,科学家的原动力究竟是什么?协同学在关于洞察科学知识如何产生方面究竟作了什么贡献呢?

与所有别的人一样,生计问题对科学家也起着某种作用。但起决定性作用的也许是另外的动机,西蒙娜·威尔在对哈里特·朱克曼的《科学精英》(纽约,1977年版)的评介中精辟地说道:“现在科学必须寻找其灵感的源泉,否则它会毁灭。恰恰有三种原因推动科学前进:1.技术应用;2.棋赛;3.通向上帝之路。(棋赛意味着竞争、奖金和奖章)”

如今我们也许不仅谈论技术应用,而且也谈论应用本身。关于科学研究重要的社会意义已经谈得够多了,因此我只打算在结尾时略为触及这个题目。

最后一种原因——通向上帝之路,也是我们熟悉的:寻找真理,寻找“是什么东西把世界统一为整体的”。

但是第二种原因——棋赛——的含义是什么呢?这是把科学当作一种对智慧的挑战,或者是在大自然中揭开又一个新的秘密,或是科学家之间争取成为“首创者或在科学上得到承认”的一种乐趣,这也许公开地反映为奖金或奖章。就像象棋大师们争夺冠军那样,科学家中间也有这种智力竞赛。科学家为了得到科学上的承认而进行的斗争,最终意味着争夺“第一名”。谁第一个作出了发现?谁第一个公开发表了一种观点?尽管在这以合作方式工作的时代,这种姿态看起来是荒谬的,但却不能忽视科学中的竞争愈演愈烈的事实。对此,协同学的基本原理一再发挥作用。科学家的人数很多,但他们的科学才智和发现确实是崭新东西的机会却是有限的。这使竞争进一步加剧,正如本书所描述的许多例子证明的,在任何一个领域中最终都是“适者”生存。正因为如此,如同在物理中只有一种激光振动能





生存并在竞争中得胜那样，在竞争中也只有一个名字、一部著作获胜。这个名字、这部著作将被一再引述，并深入到众多科学家的意识之中，最终也许深入到广大群众的意识之中。

把这一点与协同学中的其他思考作纯粹的类比似乎十分牵强。但这正是罗伯特·默顿所说的马太效应。他用许多例子进一步证明了这种效应。在《新约》中马太写道："因为凡有的，还要加给他……没有的也要夺过来……"一个名字一旦显赫起来，那么它将会由于各种理由而为其他作者所不断地引用，直到最终只有它留了下来。这种效应将通过颁发奖金而进一步加强，如果这种奖金为公众所知，则将更为如此。由于科学家的人数很多，几个科学家同时独立地发现新的成果的情况将越来越经常地发生。如其中之一得奖，那么最终就很可能只引述他的成果，并把所有发现归功于他，甚至把那些其实属于他的同人的发现也包括进去。我们还必须记住，评奖委员会本身也产生某种动力。一旦有了代表某种思潮的获奖者，那么往往会造成这么一种倾向，即通过一系列获奖者的建议，思路与之相同的人也会获奖。于是奖金常常会集中于十分相近的领域或"学派"。在哈里特·朱克曼的著作里这方面的例子很多。

有趣的是可以看到，科学家有时试图反抗这种竞争压力，有时则利用它为自己服务。如同我们已经知道的，一个科学家会由于他的成果被其他作者所认可，以及他的著作为他人引述而声名大振。美国出版了一部大型工具书《引用索引》。该书提供以下信息：当某先生发表一篇论文后，在这部书中可查出，每年有哪些科学家引用了这篇文章，由此可以看出一位科学家被引用的次数。然而只是引用次数并不一定能衡量这位先生的水平。他可能发表了一篇论述某一重要问题的论文，但提出的解决办法却是错误的。许多其他学者读后发表了修正意见。然而

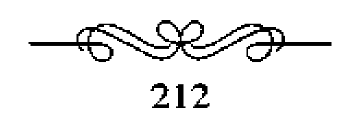




除这种情况外，《引用索引》仍不失为衡量一个研究者对其同行影响程度的准绳。顺便提一下，据说几个美国公司或大学根据《引用索引》向它们的雇员付酬，那些被引用的人可望得到比其他人较高的薪金。现在让我们回到本题。科学家怎样寻找摆脱竞争压力的机会。尽管这只是一种个别情况，对大多数科学家并不是典型的，但从协同学的观点来看却十分有趣。在《引用索引》中有时可以看到，特别是在大国中，一些科学家的集团常常相互引用，而对别的科学家集团则完全不(或最多偶然)提及。“俱乐部”的成员们试图用这种方法拔高他们在外人心目中的形象。

在某种意义上，这种行为类似为了排挤掉零星分布商店的生意而聚集在同一地方的商店的行为。对此我们在第 12 章中已有所了解。然而如果存在几个这种俱乐部，那么科学家之间的竞争将被派系之间的竞争所代替。这种俱乐部的出现，乍一看似乎对科学家的真正发展是不利的。很可能出现以下情况：一个俱乐部可能传播错误的观点。毫无疑问，不可能完全排除这种错误的发展。但这里对从“竞争第一名”而来的科学的内在的自我批评也不应低估。要能证明一项宣扬至今的观点是错误的，那毕竟是一项非常杰出的成就。然而，由于俱乐部或学派的存在，很可能难于使与他们意见不同的新观点得以确立。

在此情况下，早先一种新观点的确立，很容易成为几代人的事。当上一代科学家们仍然纠缠于一个问题的争论时，下一代却已转向他们看来是正确的答案，并完全无视以前有过的纷争。我们当前的时代，科学发展得十分迅速，为使一种新观点得以确立，已不再需要几代人的交替。然而这种竞争究竟是谁得到好处呢？答案使人感到意外。如果人们能把得来不易的知识负责地加以利用，那就只有人类及其未来得到好处。在上面引用的



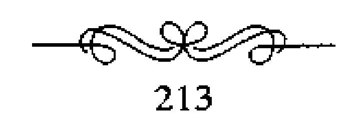

评介中提到的第二、三点最终将与第一点一样对人类有利。

科学家的竞争,不外乎是各自怀着奋斗目标的科学家在工作上的竞争而已。科学是一个自组织的系统。它在发展过程中的许多特点使人想起生物学家对生命起源所形成的看法。诸如氨基酸等有机分子聚合成为越来越大的结构。这种结构的出现是偶然的并突然达到一种有序态,从而在一个较高的层面上出现某种新的重要的和有全新性质的东西。在这种意义上,科学知识也是或多或少零星地开始形成的,最后在某一较高层面上统一成为一个新东西,一个新的规范。

然而,难道不能系统地规划科学,而不去依赖这种"偶然性"和"零星"吗?科学与我们的思想非常相似:我们不能迫使它明天就有什么发现和发明。我们能否得到成功取决于多种因素,在相当程度上取决于我们能否把零星的思想正确地综合起来,取决于所有这些最后能否自组织起来。这种经验使得科学规划和科学政策的制订十分困难。

但我们可以向大自然界的自组织系统学习:提出并促进总的目标而不过问细节,特别提醒年轻的科学家注意重大的关系和重要的联系,促进科学家之间和学科之间的协作和思想交流。一种观点常常在其他领域开花结果,并有助于在新的条件下造成一个突破。据说,福特关于汽车成批生产的思想是偶然从农业机械制造中产生的。

但在所有这些影响中不应忽视:正是杰出的科学家特别具有一种"直觉",知道什么是关系重要的、恰当的、可完成的和可制造的。让缺乏洞察力或甚至对科学一窍不通的人不断来吩咐科学家们应该发现些什么,那是一件十分糟糕的事。由于作出发现的能力要在那些前途有望的领域内去探索,这除了别的条件之外,还需要丰富的科学经验、机缘和上述的"直觉"。





如果一切都能预先计划，每个发现和发明都能预测，那么我们就不需要科学了。但历史经验表明，事情并非如此。有些诸如 X 光射线的现象决不是预见的，而是偶然发现的。但科学家们很快就认识到它的重要性。从而，正确的科学政策应该是既提出总的方向，但又为自组织留下余地。

必须不断重新制定目标，必须不断适合新的环境，这是自组织系统性质的一个部分。对科学（我总是把技术包括在内）而言，这只有通过与社会的不断对话才能实现，因为科学和社会都以对方的存在为其存在的必要前提。这是一种真正的共生现象，一有可能，它们就必然相互促进。这种对话将导致总的（有时是过于笼统的）目标的改变，例如"解决能源问题"或者"解决癌症问题"。本书的许多例子表明，某些问题并无明确的解答可得，而在最后一章中我们还要提到，某些问题原则上是不可解的（这并不意味着我指的是上述能源问题和癌症问题）。在对科学和技术的敌意不断增长的情况下，这种对话日益迫切。由于语言上的障碍和科学的思想结构，意图和效果不容易为一般人所理解，因此人们生起了一种受到科学和技术摆布和压制之感。

## 科技杂志之间的竞争

本书中一再遇到的竞争原则，不论在物理学、经济学还是在社会学中，不仅对科学家，而且也对科技杂志起作用。为了迎合新成立的科学分支的需要，新的杂志创刊，而另一些则停办了。在此，科学声望以及经济问题起着重要作用。通过发表知名科学家的文章，一些杂志赢得了高于其他杂志的声望，因而又得到





许多投稿，审稿人得以从中挑选。这样就提高了这些声望高的杂志的发行量。但由于图书馆财力有限，就不得不停订其他杂志。于是其他杂志的销售量下降。这些杂志为了能够维持下去，就必须提高其订阅费。而这又加速了它们的死亡，因为图书馆更难以购买这些昂贵的杂志。

在科技杂志的发行中，它所用的语言也起着一个重要的、但常被忽视的作用。过去常用拉丁文，后来在自然科学中用的是德文，如今，科学的世界语言是英语。从德语到英语的过渡有一个“相变过程”，其过渡的时间也能很清楚地确定。三十年代许多知名学者由德国移居国外后，就在美国和英国以英语发表著作。

由于在例如美国这样的大国，除图书馆以外，还有很多读者，杂志的出版可以更经济、更有效率。这些杂志同时又有许多知名学者充当其作者。这就使得这些杂志不仅在世界市场上起着主导作用，而且也在协同学的意义上起着序参数的作用。这样一来，又有着大量思想输出，在有些欧洲科学家看来，这有时并不完全正确地反映真实的科学成就。一些欧洲科学家的成就并未得到公正的评价，似乎所有一切最终都来自美国。



## 协同学论协同学

协同学属于能把它的原则应用于自身的少数科学分支之一。如同在某个专门的科学分支中能建立一个新的规范，据此可以把以前认为互不相同的变化过程看成某种统一的东西，协同学也是如此。协同学使属于完全不同学科的、以前认为完全





不同的现象，能够用一个统一的观点来概括。当我开创这个新的领域时，它显得是一件风险很大的事业，因为我可能就此失去科学家的声望。在那时明确提出本书所述的一般规律，似乎是一种冒险行为。但很快就看出时机已经成熟，协同学的思想现在已经得到广泛承认。因此，协同学本身就成为创立新科学的一个典型例子。

把一个新的规范，一种新的基本思想的出现与物理学中的相变过程相比较，就会产生这样一个问题：在精神领域中是否也存在着临界涨落，即伴随或先于新思想的诞生而最终却为新思想所排除或吸收的涨落。协同学的这些普遍命题，当把协同学本身作为一门科学来看待时，也已令人惊讶地被理解为其基础。事实上，与此同时至少诞生了另外两种新思想，它们的目标是把所有的科学统一起来。一种是突变论，它在社会上与雷诺·托姆的名字相联系，但在其发展和应用中，还有许多数学家如克利斯多夫·齐曼、蒂姆·波斯顿和V·I·阿诺德等也都曾作过重大的贡献。在近代的数学理论中，也许没有哪一种比突变理论更适用席勒在《华伦斯坦》中所说的："为派系的好恶所苦，他的形象在历史上浮沉不定。"来自晶莹透彻而抽象的数学思维大厦内的一种理论，怎么会与这句充满感情的言论联系起来呢？为此我们必须进一步寻求其解答。

当突变论得到数学家的普遍赞许后，公众也通过国际新闻杂志中的普及性文章而对它注意。从文章的插图中人们看到自然界突变所造成的大灾难，被大火或地震摧毁的房屋、出轨的火车，等等。是不是有一种人们可据以预测这些大灾难的理论呢？为了回答这个问题，我们又得向前探索。突变论在一些数学方程式中处理了很类似于协同学中的突然变化，也把突然出现的新状态作为研究的中心。因而我们可以用突变论来研究，例如，




桥梁怎样在一个临界载荷下倒塌。顺便指出，工程师们无需用突变论也已证明了这个事实。问题在于，每一种数学理论、每一条数学定理，都是与一定的前提联系的。例如我们在中学里学过，三角形内角之和等于180°。其后在大学里，或在中学的最后一学年里，我们又学到，这是与一定的前提相联系的，这个前提就是欧几里得几何的基本假设，也就是说，以欧几里得几何的公理为前提的。在球面，例如地球仪上画一个以大圆弧为边的三角形，那么内角之和决不是180°了。突变论中的情形也相类似，因为突变理论是与所谓势条件相联系的，对此我不拟详加说明，因为这超出了本书的范围。然而以下两方面对于一般的判断是重要的。

许多数学家对托姆的理论感到兴趣，是因为托姆对于所谓势条件提及得那么少，它简直是一个"美妙"的理论。然而在自然科学家和工程师看来，突变论在许多最重要的方面，例如对开放系统，是无用的，因为根本无需满足势条件。可以证明，在开放系统中势条件基本上是不满足的，或者换句话说，在开放系统中，也在大多数封闭系统中，自然过程的进展遵循的规律与突变论所要求的完全不同。

突变论开始时曾倍受赞扬，而后却突然受到剧烈的攻击。G·B·科拉塔发表了一篇题为《皇帝的新衣》的文章。

他在此引用的是明智的丹麦作家安徒生(1805—1875年)的那篇著名童话。在童话中，几个外地人来到皇帝那里，声称能缝制绚丽的服装，这种服装具有特别的性质：笨蛋看不见它。那几个外地人开始假装缝制，谁也没有看到服装制成，但谁也不敢说出来，因为否则就等于承认自己是笨蛋了。最终皇帝穿着他的新"衣"举行盛大巡行，人人羡慕地称赞皇帝的新衣美丽无比(这是安徒生对"舆论"这个命题所作出的贡献)。最后有一个孩子





喊叫道:皇帝根本没有穿衣服!

G·B·科拉塔、H·J·苏斯曼和R·S·扎勒尔对突变论的攻击,引起了突变论的拥护者的愤怒,他们纷纷向发表过科拉塔文章的杂志投函。现在人们已经冷静下来,尽管一开始较缓慢。在争论过程中也可以观察到相变中为人熟知的临界涨落的缓慢衰减。现在科学家们普遍意识到,突变论是有其特定的适用范围的。另外,托姆完全无视涨落的存在。当托姆在我主持召开的一次协同学会议上发表了这种意见之后,物理学家们大为吃惊。事实上,我们在本书中丝毫无疑地一再证明,涨落在许多协同学过程中起着根本性的作用。

另一个把对大自然的观察统一起来的有趣的尝试出自伊尔亚·普里戈金,他是从化学和生物化学过程开始进行研究的。他区分各种不同的结构。例如晶体这种结构,它在形成之后不再需要进一步的能量输入便能保持下去,而为了保持另一种结构则不仅需要持续的能量输入,或许还需要物质输入才能维持下去。这后一种结构的例子,可举底部加热液体中的蜂窝状结构,我们已在第4章中提到过了。持续输入的热能将部分地转化为液体蜂窝的动能。但是,由于持续的摩擦使能量消失,或者用专业语言称为"耗散",液体的运动型式将到达一种稳定状态。因此,普里戈金称这种结构为"耗散结构"。

这种结构的出现应当受到某种由P·格兰斯多夫和伊·普里戈金建立的普遍的原则所支配。这个原则与熵——耗散过程中宏观水平上的无序性——的产生有关。罗尔夫·兰多埃和罗纳德·F·福克斯已证明,这个原则可惜并不普遍有效,而利亚普诺夫函数,也并不如普里戈金所说的那样总是成立的。(这个函数的意义可以这样来说明:利亚普诺夫函数可以说明一个系统是否趋向一种稳定状态就像碗中的球总向碗底滚的那种状态)。





以上这些也许只有专家感兴趣，但另一个要点却很容易让人明白：这个原则完全不可能预测将会形成什么样的“耗散结构”。例如它既不能预测激光的性质，也不能预测贝纳德巢室的形状，亦即液体中蜂窝状结构的形状。

事实上，只有协同学中使用的，或为协同学专门发展起来的数学方法才能做到这一点。

布鲁塞尔学派开创了第二条较为成功的道路——用数学方法阐述和处理化学模型。这个模型中有两种物质的浓度发生宏观摆动，从而有可能造成空间模型。在这个模型中，两种化学物质按一定的规律相互反应，并向一维或两维空间渗滤，如同在吸墨水纸中所发生的那样，与我们在生物形态形成中谈到过的吉雷尔和迈因哈特的模型十分相似。这种模型可以看作第9章中所讲的图林模型的推广。在图林模型中，两个细胞之间的物质交换之所以成为可能，是因为每次都有一种化学反应起着作用，并由之而实现着“细胞分化”。布鲁塞尔学派最近的工作方向，正是协同学在，例如，激光问题中从一开始就选定的方向。



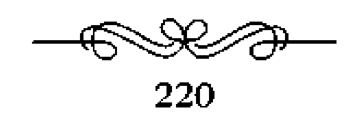


# 17
# 回　　顾

## 一项新原则

同我们一起读到本章的读者，很快就要读完全书了。一开始我们曾把一个复杂系统比作一本书。这样的一个复杂系统有许多方面，而每个人所认为是它典型性质的东西，则往往取决于他个人的观点。这对本书的读者也是如此。本书已经介绍了许多领域里各种不同的事实，它们的兴趣和吸引力的大小也各不相同。特别是在经济和社会学领域内，读者也许会高兴地赞同某些结论而完全拒斥另一些结论。但在这种种各别的印象之外，科学家们有一个老是要问的问题：这些鳞次栉比的部分所形成的是一个杂乱无章的镶嵌呢，还是一个统一的整体？换句话说，可以期望这本书有一个普遍适用的新观点吗？为了回答这个问题，首先来看看自然科学领域，也就是物理学、化学、生物学及与它们相近的学科。

我们在开始时就谈及，就在不太久以前，物理学家还难以回答以下问题：生物结构的发展是否遵循物理学的基本原则。我们在一系列具体例子中已经看到，在无生命自然界中也可能形成结构，这种结构是通过不断的能量供给而得以维持的。这方




面的例子如激光器及其严格有序的光发射、液体中的蜂窝状结构或化学中的螺线形波。这些都是开放系统，它们得到持续的能量供应，有的也不断得到新的物质的供应，经过转化，最终以变化过的形式输出。这就是所谓的开放系统。

这里用得着协同学的新知识。对于开放系统，在一个不受干预的系统中无序性不断增加的原则是不适用的。古老的玻尔兹曼原理，即熵是无序性的一种度量并趋向于极大，只对封闭系统成立。如同我们在第2章中就无序性的增大所看到的，玻尔兹曼原理只涉及一个系统中，在这里是整个气体，可能性的数目，亦即不同分子可实现的分布数目。这里每次涉及的只是一个确定的数目，从而是一个**静态**的原则。然而对开放系统中结构的形成有没有一个普遍的新原则呢？这正是协同学所已揭示的。在一个开放系统中各组成部分不断地相互探索新的位置、新的运动过程或新的反应过程，系统的很多部分都参与这种过程。在不断输入的能量，或许还有新加入的物质的影响下，一种或几种共同的，也就是集体的运动或反应过程压倒了其他过程。这些特殊的过程不断加强自身，如同我们在激光光波或液体滚卷形成中很清楚地看到的，或者换句话说，它们不断增长，最终战胜并用协同学的行话来说，支配了所有其他运动形式。这些新的运动过程——也称为方式——给予系统以一种很容易认识的宏观结构。通常我们认为系统这样所达到的新状态具有较高级的有序性。这里我们所面对的是一个动态的原则：方式的增长率起决定性作用。增长率最高的那些方式通常获得优势并决定宏观结构。如果几个这样的集体运动，我们也称之为序参数，有着相同的增长率，那么它们在一定条件下可以相互合作并产生一种全新的结构。为了使某个增长率为正数（在自然界中也有零增长和负增长），需要有充分的能量输入。在输入能量的某

个确定的临界值下，系统总的状态发生宏观的改变，即出现一种新的有序性。大自然在此好像按杠杆原理应用输入的能量。按照杠杆原理的机制，只要杠杆臂足够长，我们就能用很小的力举起很重的载荷。大自然对形成结构的开放系统所做的事情是类似的。

环境条件的微小变化，例如激光器中电流的输入或者液层中温度的升高，其作用都会大大增强，从而使一定的运动方式越来越强烈。数学上可以证明，这种运动的强度起着杠杆臂的作用，环境条件的变化起着在杠杆臂上所用的力的作用，而宏观有序状态的升级则对应着被提升起来的载荷。

## 无生命自然界到<br>有生命自然界之间的桥梁

但协同学的宗旨并不只在于发现无生命自然界中的一般规律，它还打算在无生命自然界与有生命自然界之间架起一座桥梁。由于下列两个发现，特别使这座桥的架设成为可能。第一个发现是：甚至在有生命自然界中，所有的系统都是开放系统；第二个发现是：方式之间存在着竞争。我们先讨论第二个发现。最终哪种结构得以实现，将取决于各个集体运动形式（方式）的增长率，这一观点意味着这些不同的运动形式不断相互竞争。这自然使我们立即清晰地忆起达尔文主义对于有生命自然界的基本观点；不同物种之间的竞争是进化的原动力。我们现在知道，达尔文主义是一个更为普遍的原理中的一种特殊情况。在无生命物质中也有着竞争。按照我们现在所具备的知识，这个

类型的竞争过程存在于每种生物的生长和发展中，在生物的形成和大脑的发展中也是如此。集体行为方式的这个竞争原则不仅对无生命世界和生物成立，而且对精神领域也成立，这一点我们已在社会科学中明显地看到。这个原则甚至还可扩大到新的科学思想中去，新思想生存在不断相互争论中，并且只有通过科学界的集体努力和集体智慧才能发展和延续下去。

我们打算再一次详细观察的另一种发现涉及开放系统，这种系统在无生命自然界和有生命自然界中能形成丰富多彩的结构。

## 生活在火与冰之间

一方面存在着火，例如太阳的火，另一方面存在着太空的无边的冰寒，这意味着世界现在并不处于热平衡之中，世界也从未处于热平衡状态。按照我们现有的知识，世界在大爆炸中形成时，是一个烫得难以想象的火球，但同时它在不断膨胀和冷却。因而混沌初开时就存在着大量的热和大量的冷的对立。至于生命能否继续存在，则取决于宇宙中能否永恒保持这个对立。我相信，对此尚不能下最后的断语。按照天体物理学家的最新观点，世界面临着一个多事的未来，而这个未来对生命并不总是仁慈的。我们的太阳在遥远将来的某一天会爆炸成为一个大火球。在宇宙空间中也可能出现所谓黑洞，黑洞以不可抗拒的力量吸引和吞没附近的一切。但这些黑洞最终又很可能蒸发掉。在这样多次来回折腾以后，能量消散，物质转化，最终在宇宙空间中只剩下一个巨大死寂的物质铁球。在这一未来图景中自然





蕴涵着若干假设。其中之一是:我们的世界处于不断的膨胀之中,这在科学上是很有根据的。它的基本思想十分简单,其根据是所谓旋涡星云逃逸,这已为旋涡星云光线的红移所证实。物理学中为人熟知的红移现象是指:如果一个静止的物体发射出黄色的光,那么当它离开我们时,其颜色似乎渐渐发红。天文学家早已确认,距离我们较远的旋涡星云显得比距离我们较近的那些"更红"。他们由此得出结论,这些远离我们的旋涡星云向远处移动,它们在宇宙空间中离我们越远,它们的运动速度就越快。所以说宇宙正在不断膨胀着。这种膨胀会无限地继续下去吗? 完全有可能出现这样的情况:这种膨胀有一天会停止,而后宇宙重新收缩,终于成为一个热火球,整个过程又将重新开始——甚至这也许是一种无止的重复。虽然理论根据还很少,但可以设想,在宇宙空间中一直发生着某种原始大爆炸,也许范围较小,这意味着一再出现新的能源。我认为这个结论与物质最终将终止于死寂的铁球这个结论同样离奇。



## 生命的又一特征?

既然认为生命是由于热与冷的对立才有可能出现,那么我们自然会问,在其他星球上是否也存在生命。这里最先为人想到的当然是那些与地球上的条件相类似的星球。然而,由于无生命物质已有如此多样的集体运动形式,这就使我们不免猜想,是否存在着完全不同的生命形式。人们知道,太阳其实是一种等离子体,其中有着非常复杂的集体运动,常常被称为等离子体的不稳定性。难道这类演化过程最终不可能具备与生命相类似





的性质吗？虽然这种想法也许不能完全否定，但地球上的生命附有某些我们还没有在无生命自然界中的开放系统中发现的东西。例如对激光器或从底部加热的液体切断其能量供应，那么已形成的结构将很快毁坏。然而生物却能设法构筑牢固的结构。这一点无论对作为基本组成部分的生物分子如 DNA，还是对骨骼和整个身体，都是成立的。因而大自然已发现怎样一再把形成过程巩固为固定的结构。这就使得生物体，无论是一个生物，还是全体生物，都可以取得经验，学会从一个阶段向另一个阶段进化。我觉得，对于固定的结构与这些结构所履行的功能，以及这些功能又转而构筑结构之间的关联，正有着极其大量的研究工作可做。我们可以假定，这里有着深刻的基本原理尚待发现，对于这些原理我们现在很可能还根本一无所知。

## 认识的界限



如我们在本书中看到，协同学指出，在各种各样的领域中结构的发展有着相同规律。

某种有序状态不断增长，直到最后它占了优势并支配一个系统的所有部分，迫使各个部分进入这种有序状态。常常是一种不可预见的涨落使在两个等价的有序状态之间作出了最终选择。在精神领域中也有这些现象。

在语言、艺术、文化和在思维过程中，我们也可以见到这样的发展。突然间成立了一个新的有序状态，好比在拼图游戏中拼对了某一块后那样，一个全新的方向明朗化了。突然有了一种更有序的状态，或在精神层面上，出现了一种更高的洞见。在

自然科学—技术领域中，在许多情况下都能预测新的有序状态，然而在纯粹精神领域中这显然是不可能的，虽然同样性质的规律性是成立的。

一切东西说到头来都由物质构成，而我们现在知道，自组织定律是与物理定律相容而非与之矛盾的。于是便产生了造物主是否还有必要的问题。这里我们每个人都站在十字路口。人人都有相信或不相信造物主的自由。一些人会说，我们至少可以从原则上理解，在物质领域中整个发展过程都是通过自组织形成的。另一些人则会认为，例如，在计算机的设计中，要确立能够保证计算机自组织的基本规律是一件极其困难的事。也就是说，那些人会这样认为：由于自然界中的一切都是以如此完美的方式形成的，那就必然有一个造物主，最初制定了正确的规律，使以后的物质自组织得以实现。

同时也有着我们在本书中从未忽视过的另一种观点，它可以说带有一种邪恶的性质。我们一再发现新的有序状态建立时还得考虑到偶然因素，新的状态常常只是偶然确定的。这里所引起的也许是还远未彻底研究的问题。难道我们能够说，例如，一种特殊的激光振动的产生与偶然性有关，而某种生物分子的出现却与偶然性无关吗？

这里我们看出人类知识的第一条界限，照我看来，这是一条基本的界限。我们越来越清楚地认识到，在自然科学中，且不说在哲学或社会科学领域中，有些问题即使不是完全不可解，也是不能毫无疑义地解决的。这也许会使我们既感到意外，又感到震惊。事实上，数学家库特·哥德尔（1906—）证明，就是在纯粹数学中也存在着一些人们根本不知道它们是可解的还是不可解的问题；换言之，这些问题的可解性是不能确定的。

当我们把数学的这种观点推广到其他科学分支，那么，至

少直觉地就必然估计到有些问题是我们在原则上无法回答的。年轻的读者可能会对此特别感到失望。但他们可以这样自慰：有大量问题是可以解决而必须解决的，以便保证人类的继续生存。





# 参考书目

由于协同学在许多知识领域之间建立了横向联系，与之有关的参考书目多得难以胜数，特别是像本书这样的通俗书籍，根本无法一一列举。下面我做的提示只能局限于若干实质性的内容，其中有一部分是本书中引用其结果的那些原始文献；还有一部分是介绍给希望深入研究这一课题的读者的文献和补充文献。这些参考书目将分章列出。

## 前言·1 引言和概述

M. Eigen. R. Winkler-Oswatitsch:》Das Spiel《. Piper. München 1975.

“协同学”这个概念是我在斯图加特大学 1970 年冬季学期讲课中提出的，又见 H. Haken, R. Graham: Synergetik. Die Lehre vom Zusammenwirken, Umschau 6, 191(1971).

以下专著提出科学性的论述：H. Haken: Synergetics. An Introduction. Nonequilibrium Phase Transitions in Physics, Chemistry and Biology, 3rd ed., Springer, Berlin 1983.

在下面的会议录中，知名科学家已涉及以下许多方面(《施普林格协同学丛书》，卷 1)：Synergetics. Cooperative Phenomena in Multi-component Systems, Ed.: H. Haken, Teubner, Stuttgart 1973. Cooperative Effects. Progress in Synergetics, Ed.: H. Haken, North Holland, Amsterdam 1974.





上述内容也见于《施普林格协同学丛书》的其他各卷中①：

Vol. 2：Synergetics. A Workshop, Ed.：H. Haken.（《协同学·一次专题讨论会》）

Vol. 3：Synergetics. Far from Equilibrium, Eds.：A. Pacault, C. Vidal.（《协同学，远离平衡态》）

Vol.4：Structural Stability in Physics, Eds.：W. Güttinger, H. Eikenmeier.（《物理学中的结构稳定性》）

Vol.5：Pattern Formation by Dynamic Systems and Pattern Recognition, Ed.：H. Haken.（《动力学系统中的模式形成和模式识别》）

Vol.6：Dynamics of Synergetic Systems, Ed.：H. Haken.（《协同学系统的动力学》）

Vol.7：Problems of Biological Physics, By L.A. Blumenfeld.（《生物物理学中的一些问题》）

Vol.8：Stochastic Nonlinear Systems in Physics, Chemistry, and Biology, Ed.：L. Arnold, R. Lefever.（《物理学、化学和生物学中的随机非线性系统》）

Vol.9：Numerical Methods in the Study of Critical Phenomena, Eds.：J. Della Dora, J. Demongeot, B. Lacolle.（《研究临界现象的数值方法》）

Vol.10：The Kinetic Theory of Electromagnetic Processes, By Yu.L. Klimontovich.（《电磁过程的动力学理论》）

Vol.11：Chaos and Order in Nature, Ed.：H. Haken.（《大自然中的混沌和有序》）

Vol.12：Nonlinear Phenomena in Chemical Dynamics, Eds.：C. Vidal, A. Pacault.（《化学动力学中的非线性现象》）

Vol.13：Handbook of Stochastic Methods for Physics, Chemistry, and the Natural Sciences, 2nd Ed., By C. W. Gardiner.（《物理学、化学和自然科学中的随机方法手册》）

Vol.14：Concepts and Models of a Quantitative Sociology. The Dynamics of Interacting Populations, By W.Weidlich, G. Haag.（《定量社会学的概念和模

① 这份目录已根据最新资料加以补充，各卷书名的中文译名同时译出。——译者





型:相互作用的群体动力学》)

Vol. 15: Noise-Induced Transitions Theory and Applications in Physics, Chemistry, and Biology, By W. Horsthemke, R. Lefever.(《噪声——感应跃迁的理论及其在物理学、化学和生物学中的应用》)

Vol. 16: Physics of Bioenergetic Processes, By L.A. Blumenfeld.(《生物能过程的物理学》)

Vol. 17: Evolution of Order and Chaos in Physics, Chemistry, and Biology, Ed. H. Haken.(《物理学、化学和生物学中的有序和混沌的演化》)

Vol. 18: The Fokker-Planck Equation, By H. Risken.(《福克尔-普朗克方程》)

Vol. 19: Chemical Oscillations, Waves, and Turbulence, By Y. Kuramoto.(《化学振荡、波和湍流》)

Vol. 20: Advanced Synergetics, By H. Haken.(《高等协同学》)

Vol. 21: Stochastic Phenomena and Chaotic Behaviour in Complex Systems, Ed.: P. Schuster.(《复杂系统中的随机现象和混沌性态》)

Vol. 22: Synergetics-From Microscopic to Macroscopic Order, Ed.: E. Frehland.(《协同论——从微观有序到宏观有序》)

Vol. 23: Synergetics of the Brain, Eds.: E. Basar, H. Flohr, H. Haken, A.J. Mandell.(《大脑的协同学》)

Vol. 24: Chaos and Statistical Methods, Ed.: Y. Kuramoto.(《混沌和统计方法》)

Vol. 25: Dynamics of Hierarchical Systems, By J.S. Nicolis.(《等级序列系统的动力学》)

Vol. 26: Self-Organization and Management of Social Systems, Eds.: H. Ulrich, G.J.B. Probst.(《社会系统的自组织和管理》)

Vol. 27: Non-Equilibrium Dynamics in Chemical Systems, Eds.: C. Vidal, A. Pacault.(《化学系统中的非平衡动力学》)

Vol. 28: Self-Organization. Autowaves and Structures Far from Equilibrium, Ed.: V.I. Krinsky.(《自组织。远离平衡态的自动波和结构》)

Vol. 29: Temporal Order, Eds.: L. Rensing, N.I. Jaeger.(《时间的有序性》)

Vol. 30: Dynamical Problems in Soliton Systems, Ed.: S. Takeno.(《孤子系统中的动力学问题》)




Vol.31: Complex Systems-Operational Approaches in Neurobiology, Physics, and Computers, Ed.: H. Haken.(《复杂系统——神经生物学、物理学和计算机中的算子方法》)

Vol.32: Dimensions and Entropies in Chaotic Systems. Quantification of Complex Behavior, Ed.: G. Mayer-Kress.(《混沌系统中的维数和熵。复杂行为的定量表示》)

本书运用的序参数概念相当于在协同学专著中用到的建序参数概念,在那些文献中有精确的数学定义。支配原理在那里也有一个精确的数学形式(参看哈肯:《协同学引论》)

在 F.Vester:》Neuland des Denkens《, DVA, Stuttgart 1980 中也强调了整体性(系统的)观察方法的重要性,然而协同学表明了各种极不相同的系统的性态之间的深刻相似性。

# 2 无序有增无已？世界的热寂

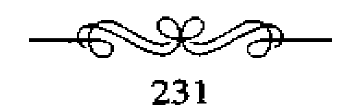
L. Boltzmann: Entropie-Verteilungsfunktion, Sitzungsber. Akad. Wien 63, 712 (1871).



# 3 晶体——有序但无生命的结构

以下书籍对固体物理学作了通俗的介绍:H. Pick:》Einführung in die Festkörperphysik《, Wiss. Buchgesellschaft. Darmstadt 1978.

关于相变的介绍见:H.E.Stanley:》Phase Transitions and Critical Phenomena《, Clarendon, Oxford 1971.





## 4 流体模式、云图和地质构造

底部加热液体中运动模式的建立首次由 H. Bénard: Rev. Gen. Sci. Pures. Appl. 12, 1261(1900); Annls. Chim. Phys. 23, 62(1901)描述。近年来,这个领域经历了一次真正的复苏。布塞、戈卢布、科施米德尔、斯温尼等人进行的实验,在《施普林格协同学丛书》第2卷和第5卷中作了介绍。关于在协同学范畴内的理论处理,见哈肯:《协同学引论》。关于大陆漂移说见:H. Berckheimer: Vortrag auf der 111. Versammlung Deutscher Naturforscher und Arzte, Hamburg 1980.

## 5 "要有光"——激光

激光原理:A. L. Schawlow, C. H. Townes: Phys. Rev. 112, 1940(1958).

受激射线辐射导致微波放大是独立地由 J. P. Gordon, H. J. Zeiger. C. H. Townes: Phys. Rev. 95, 282(1954); 99, 1264(1954),以及 N. G. Basov, A. M. Prokhorov: J. Exptl. Theor. Phys. USSR 27, 431(1954), 28, 249(1955)发展的(巴索夫、普罗霍罗夫和汤斯获得1964年诺贝尔奖)。第一个激光器由 T. H. Maiman: Brit. Commun. Electr. 7, 674(1960); Nature 187, 493(1960)用红宝石实现。

激光的统计非线性理论:H. Haken: Z. Physik 181, 96(1964). 又见 H. Haken:》Laser Theory《Handbuch der Physik XXV/2c. Springer, Berlin 1978, 以及 H. Haken:》Licht und Materie《, Bibliographisches Institut, Mannheim 1981.

激光的相变由 R. Graham, H. Haken: Z. Physik 213, 420(1968); 237, 31(1970), V. DeGiorgio, M. O. Scully: Phys. Rev. A2, 1170(1970)指出。

# 6 化学模式

关于化学振荡(化学钟)早已在 1921 年报道:C.H.Bray: J.Am.Chem. Soc.43,1262(1921).

化学振荡的数学理论已由 K.F.Bonhoeffer: Z.Elektrochemie u.angewandte physikalische Chemie 51,24(1948)提出。

别洛索夫-沙包廷斯基反应:B.P.Belousov: Sb.ref.radats.med.Moscow (1959),V.A. Vavilin,A.M. Shabotinsky, L.S. Yaguzhinsky:》Oscillatory Processes in Biological and Chemical Systems《(Moscow Science Publication 1967),P. 181.

普及性介绍见 A.T.Winfree: Science. 175,634(1972); Sci.Am.230,82 (1974).

# 7 生物的进化——适者生存

关于达尔文—华莱士首创权问题我们根据的是: R.K.Merton:》The Sociology of Science《.The University of Chicago Press, Chicago 1973.达尔文和华莱士的原始报告为:》On the Tendency of Species to Form Varieties and on the Perpetuation of Varieties and Species by Natural Means of Selection《,by C.Darwin and A.R.Wallace. Communicated by Sir C.Lyell and J.D.Hooker, Journal of the Linnean Society 3(1859);45.Read.1.July 1858.

关于达尔文理论对社会科学的影响和对社会达尔文主义的批评的详细讨论超出了本书的范围。关于这些请看例如 R.Hofstadter:》Social Darwinism in American Thought《,Braziller,New York 1959.

激光振动中的竞争为 H.Haken,H.Sauermann: Z.Physik 173,261(1963)

说明。

生物分子中的竞争，优生进化：M. Eigen: Die Naturwissen-schaften 58, 465(1971)；M. Eigen, P. Schuster: Die Naturwissenschaften 64, 541(1977)；65, 7 (1978)；65, 341 (1978)；M. Eigen, W. Gardiner. P. Schuster, R. Winkler-Oswatitsch:》The Origin of Genetic Information《, Scientific American 244, April 1981, P. 78.

# 8 不是最适者也能生存

V. Volterra: Mem. Acad. Lincei 2, 3(1926)；A. J. Lotka: J. Wash. Acad. Sci. 22, 461(1932). R. M. May:》Model Ecosystems《, Princeton Univ. Press, Princeton, 1974. 提出昆虫数量不规则振荡的数学模型。

# 9 生物有机体是怎样起源的?

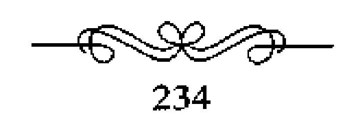
普及介绍(包括双螺旋体的发现史)参见 J. D. Watson:》Die doppelhelix《, Rowohlt Taschenbuch, Hamburg 1973.

关于粘菌参见 G. Gerisch. B. Hess: Proc. nat. Acad. Sci. 71, 2118(1974), 以及特别关于螺线形波的证明参见 K. J. Tomchik. P. N. Devreotes: Science 212, 443(1981).

细胞分化的一个模型参见 A. M. Turing: Phil. Trans. R. Soc. London B237, 37(1952).

基于反应—渗透方程的生物“模式形成”的提出者有 A. Gierer. H. Meinhardt: Kybernetik 12, 30(1972), 等。

H. Haken, H. Olbrich: J. Math. Biol. 6, 317(1978). 用协同学概念对这个模型进行了探讨。





水螅中兴奋物质和抑制物质的实验证明参见 Tobias Schmidt. Cornelius J. P. Grimmelikhuijzen, H. Chica Schaller, in:》Developmental and Cellular Biology of Coelenterates《, hrsg. von P. Tardent, R. Tardent, Elsevier/North Holland Biochemical Press 1980, P. 395.

关于神经生长因子作用的说明参见 R. Levi-Montalcini, P. Calissano:》The Nerve-Growth Factor《Sci. Am. 240—6,44(1979).

## 10　矛盾往往不可避免

心理学试验书籍:J. G. Howeller, J. R. Lickorish:》Familien-Beziehungs Test《, Ernst Reinhardt Verlag, München/Basel 1975. S. Rosenzweig:》Aggressive Behaviour and the Rosenzweig Picture Frustration Study《, Praeger, New York 1978.

B. Bettelheim:》Erziehung zum Überleben《, DVA, Stuttgart 1980.

## 11　混沌、偶然和机械论世界观

关于量子理论中的基本哲学问题参见:C. F. v. Weizsäcker:》Zum Weltbild der Physik《Hirzel, Leipzig 1945, Stuttgart 1970; C. F. v: Weizsäcker:》Die philosophische Interpretation der modernen Physik《, Nova Acta Leopoldinae, Barth, Leipzig 1972; W. Heisenberg:》Der Teil und das Ganze《, Piper, München 1969.

流体运动中的混沌:E. N. Lorenz. J. Atmos. Sci. 20, 130(1963).

别洛索夫—沙包廷斯基化学反应中的混沌,参见例如:O. E. Roessler: Z. Naturforschg. 31a, 259(1976); Bull. Math. Biol. 39, 275(1977).

生物学中的混沌:R. M. May:》Model Ecosystems《, Princeton Univ. Press, Princeton 1974.

天体力学中的无规则运动:H. Poincaré:》Les Méthodes Nouvelles de la




Méchanique Céleste《, Reprint Dover, New York 1957.

关于混沌的典型例子概述参见：S. Großmann: Vortrag auf der 111. Tagung Deutscher Naturforscher und Ärzte, Hamburg 1980.

关于通过核聚变得到能量参见：H. Zwicker:》Kernfusion als mögliche Energiequelle der Zukunft《, in: Brennpunkte der Forschung, W. Weidlich DVA, Stuttgart 1981.

# 12 经济中的协同效应

关于"繁荣和经济衰退"以及"技术创新"等。

这里所述的模型出自：Gerhard Mensch, Klaus Kaasch, Alfred Kleinknecht und Reinhard Schnopp: IIM/dp 80-5,》Innovation Trends, and Switching between Full-and Under-Employment Equilibria《, 1950—1978, Discussion paper series, International Institute of Management, Wissenschaftszentrum Berlin.

我在本书中根据的是，我对G·门施于1980年夏季学期在斯图加特大学所作报告的讨论意见。我的一些结论与所引用的他的报告内容有分歧。



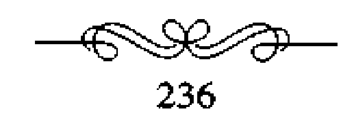
# 13 革命能不能预测？

Isaac Asimov:》The Foundation《, Avon Books, New York 1964.

Elisabeth Noelle-Neumann:》Die Schweigespirale《, R. Piper & Co. München 1980. 下面引用的一系列文献出自该书。

Solomon E. Asch:》Group Forces in the Modification and Distortion of Judgements《, in: Social Psychology, Prentice Hall Inc. New York 1952, S. 452.

诺埃勒-诺伊曼的书中包含着她自己用民意测验方法对这个问题进行




的一系列研究。

Jean-Jacques Rousseau:》Dépeches de Venise, XCI《. La Pléiade. Gallimard, Paris 1964, Band 3, S. 1184.

James Madison, in: The Federalist, 1788, No. 49, February 2.

Alexis de Tocqueville:》Autorität und Freiheit《, Rascher, Zürich, Leipzig 1935, S. 55.

James Bryce:》The American Commonwealth《, Macmillan, London, Vol. II, Part IV, Chapter LXXXV, S. 337.

Guy de Maupassant:》Bel Ami《.

Walter Lippmann:》Public Opinion《, The Macmillan Comp., New York 1922, 1954;德译本:》Die öffentliche Meinung《, Rütten u. Loenig, München 1964.

Niklas Luhmann in: Politische Vierteljahrsschrift, 11. Jg., 1970, Heft 1, S. 2—28.

David Hume:》Essays Moral, Political and Literary《, Oxford University Press, London 1963, S. 29.

Jean-Jacques Rousseau:》Schriften zur Kulturkritik《, 法-德文版。德译本由 Kurt Weigand, Felix Meiner, Hamburg 1978, S. 257.

Phasenübergangsanalogien von Revolution: W. Weidlich, in: H. Haken (Hrsg.),》Synergetik《, Teubner, Stuttgart 1973.

A. Wunderlin u. H. Haken:》Vortrag zum Projekt Mehrebenen-analyse im Rahmen des Forschungsschwerpunkts Mathematisierung《, Universität Bielefeld 1980, 又见 H. Haken:》Synergetik. Eine Einführung《.

Ivan London: Vorabdruck 1981. Alexis de Tocqueville:》L'Ancien Régime et la Révolution《, 德译本: Das alte Staatswesen und die Revolution, Leipzig 1857.

## 14 幻觉能证明关于大脑功能的理论吗?

关于大脑研究的一个很好的普及性综述参见:》The Brain《, Scientific American, September 1979; D. H. Hubel, T. H. Wiesel: The Journal of Physiolo-

gy, 195, No 2, 215, November 1968（对猩猩视觉系统的试验）。J. D. Cowan, G. B. Ermentrout, in: Springer Series in Synergetics, Bd. 5, S. 122, l. c.（吸毒导致幻觉的理论）。

癫痫发作参见例如：A. Babloyantz, in: Springer Series in Synergetics, Bd. 6, S. 180, l. c.

关于赫布综合症参见：D. Hebb:》Organization of behavior《, Wiley, New York 1979.

## 15 计算机的解放：希望还是恶梦？

关于模式识别参见：K. S. Fu:》Digital Pattern Recognition《, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1976; K. S. Fu:》Syntactic Pattern Recognition Applications《, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1976; K. S. Fu, in: Springer Series in Synergetics, Springer, Berlin 1979, Bd. 5, S. 176 l. c., T. Kohonen: Associative Memory – A System – Theoretical Approach, Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1978, 以及见 Springer Series in Synergetics, Springer, Berlin 1979, Bd. 5, S. 199 l. c.

计算机会变幻莫测吗？参见 J. Weizenbaum:》Computer Power and Human Reason《, W. H. Freeman & Co., San Francisco 1976.

## 16 科学感知的原动力——科学家之间的竞争

Thomas S. Kuhn:》The Structure of Scientific Revolution《, University of Chicago Press, Chicago 1970.

R. K. Merton:》The Sociology of Science《, The University of Chicago Press,

Chicago 1973.

Harriett Zuckerman:》Scientific Elite《, The Free Press, Macmillan Publishing Co. Inc., New York 1977.

René Thom:》Stabilité Structurelle et Morphogénèse《, Benjamin, New York 1972.

Tim Poston, Jan Stewart:》Catastrophe Theory and its Applications《, Pitman Publishing Limited, London 1978.

E.C. Zeeman :》Catastrophe Theory. Selected Papers《, Addison-Wesley, Reading, Mass. 1977.

G.B. Kolata: Science 196, 287, 350 – 351(1977).

H.J. Sussmann und R.S. Zahler: Synthese 37, 117—216(1978), H.J. Sussmann und R.S. Zahler: Behavioral Science 23, 383—389(1978).

P. Glansdorff, I. Prigogine:》Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations《, Wiley, New York 1971.

G. Nicolis und I. Prigogine:》Self-Organization in Nonequilibrum Systems《, Wiley Interscience, New York 1977.

R. Landauer: Phys. Rev. A12, 636(1975).

Ronald Forrest Fox: Proc. Natl. Acad. Sci, USA, 77, No7, 3763(1980).



## 17 回　　顾

关于宇宙的未来参见例如：F. J. Dyson: Rev. Mod. Phys. 51, 447(1979), 又见 R. Breuer:》Vom Ende der Welt《, Bild der Wissenschaft, Stuttgart 1981, Heft 1, 18. Jahrgang, S.46.

Kurt Gödel:》Über Formal unentscheidbare Sätze der Prinzipia Mathematica und verwandter Systeme《, I., Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, 173—198 (1931); 又见 Douglas R. Hofstadter:》Gödel, Escher, Bach, an Eternal Golden Braid《, The Harvester Press Ltd., Hassocks 1979.





# 插 图 来 源

1.1 M81 星云，由 H.C. Arp:》The Evolution of Galaxies《, Readings from Scientific American:》New Frontiers in Astronomy《, Freeman and Co, San Francisco 1975

1.3 Naturwissenschaftl. Rundschau, 10, 1979

1.4 《绘画》，由 M.C. Escher:》Graphik und Zeichnungen《, Heinz Moos Verlag, München 1975

2.3 《有序和混沌》，由 M.C. Escher:》Graphik und Zeichnungen《, Heinz Moos Verlag, München 1975

3.1 由 G. Adam, P. Läuger, G. Stark:》Physikalische Chemie und Biophysik《, Springer, Berlin 1977, nach L. Pauling:》The Nature of the Chemical Bond《, Cornell Univ. Press, 1960

3.3 由 Gerthsen, Kneser, Vogel:》Physik《, Springer, Berlin 1977

3.6 由 C. Kittel:》Introduction to Solid State Physics《, Wiley, New York 1956

4.4 由 H. Haken:》Die Synergetik. Ordnung aus dem Chaos《, Bild der Wissenschaft/Keidel

4.19 由 M.G. Velarde, C. Normand:》Convection《, Sci. Am. July 1980

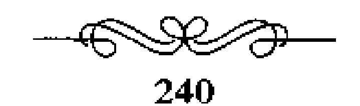
4.21 由 U. George:》Geburt eines Ozeans《, Geo 7, Juli 1978, Gruner + Jahr, Hamburg 1978

4.22 由 H. Haken:》Die Synergetik. Ordnung aus dem Chaos《, Bild der Wissenschaft

4.23 由 J.A. Whitehead jr:》A Survey of Hydrodynamic Instabili-ties《, in:》Fluctuations. Instabilities and Phase Transitions《, ed. T. Riste, Plenum Press, New York 1975

4.24 由》Pattern Formation and Pattern Recognition《, ed. H. Haken, Springer, Berlin 1979，按 F.H. Busse, J.A. Whitehead; J. Fluid Mech. 47, 305(1971)

4.25 由 H.L. Swinney, P.R. Fenstermacher, J.P. Gollub:》Transition to Turbu-





lence in a Fluid Flow《, in 》Synergetics. A Workshop《, ed. H. Haken, Springer, Berlin 1977

4.26 由 R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands:》The Feynman Lectures of Physics II《, Addison Wesley, 1965

6.5 由 M. L. Smoes:》Chemical Waves in the oscillatory Zhabotinskii System. A Transition from temporal to spatio-temporal Organization《, in 》Dynamics of Synergetic Systems《, ed. H. Haken, Springer, Berlin 1980

8.3 由 D. A. MeLulich:》Fluctuations in the Numbers of varying Hare《, Univ. of Toronto Press, Toronto 1973

8.4 由 R. M. May:》Model Ecosystems《, Princeton Univ. Press, Princeton 1974

9.1 a)由 M. W. Nirenberg:》The Genetic Code II《, b) Aus V. Yanofsky:》Gene Structure and Protein Structure《, in Readings from Scientific American: 》The Molecular Basis of Life《, Freeman and Co, San Francisco 1968

9.4 由 J. C. Fiddes:》The Nucleotide Sequence of Viral DNA《, Sci. Am. December 1977, 54(1977)

9.5 由 F. Vester:》Das Kybernetische Zeitalter《, S. Fischer Verlag, Frankfurt a. M. 1974

9.6 由 J. T. Bonner:》Differentiation in Social Amoebae《, Readings from Scientific American:》From Cell to Organism《, Freeman and Co, San Francisco 1967

9.7 由 G. Gerisch, B. Hess; Proc. nat. Acad. Sci. (Wash), 71, 2118 (1974)

9.13 由 H. Meinhardt:》The Spatial Control of Cell Differentiation by Autocatalysis and Lateral Inhibition《, in 》Synergetics. A Workshop《, ed. H. Haken, Springer Berlin 1977

10.3 《圆的极限 IV》由 M. C. Escher:》Graphik und Zeichnungen《, Heinz Moos Verlag, München 1975

10.4 由 G. C. Davison/J. M. Neale:》Klinische Psychologie《, Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore 1979

11.1 Film-und Bildarchiv Werner-Büdeler, 8153 Thalham/Obb.

11.3 由 H. Haken:》Synergetics. An Introduction《, Springer, Berlin 1978

11.4 由 Physics Today, January 1978

12.6 由 G. Mensch, K. Kaasch, A. Kleinknecht, R. Schnopp:》Innovation Trends, and Switching Between Full-and Under-Employment Equilibria 1950-1978《, IIM/dp 80—5, discussion paper series, International Insti-

tute of Management, Wissen-schaftszentrum Berlin, Berlin 1980

14.1, 14.2 由 T. H. Bullock, R. Orkand, A. Grinell: 》Introduction to Nervous Systems《, Freeman and Co, San Francisco 1977

14.2 由 D. H. Hubel: 》The Brain《, Sci. Am. September 1979, 39(1979)

14.4 由 N. A. Lassen, D. H. Ingvar, E. Skinhøj: 》Brain Function and Blood Flow《, Sci. Am. October 1978

14.6 由 A. Babloyantz: 》Self-Organization Phenomena in Multiple Unit Systems《, in 》Dynamics of Synergetic Systems《, ed. H. Haken, Springer, Berlin 1980

15.2 由 K. S. Fu: 》Syntactic Methods in Pattern Recognition《, Academic Press, New York 1974

15.7 由 T. Kohonen: 》Representation and Processing of Associations using Vector Space Operations《, in 》Pattern Formation and Pattern Recognition《, ed. H. Haken, Springer, Berlin 1979

15.8 由 L. R. Rabiner, R. W. Schafer: 》Digital Processing of Speech Signals《, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey © 1978 Bell Labs Inc.

15.9 由 G. Hoffmann: 》Brunnen und Wasserspiele《, J. Hoffmann Verlag, Stuttgart 1980

15.16 由 G. Adam, P. Läuger, G. Stark: 》Physikalische Chemie und Biophysik《, Springer, Berlin 1977, nach Singer, Nicolson: Science 1975, 720(1972)

16.1 由 K. Appel, W. Haken: 》Der Beweis des Vierfarbensatzes《, Spektrum der Wissenschaft, Erstedition





# 补充参考书目

## 前言·1　引言和概述

H. Haken:》Advanced Synergetics. Instability Hierarchies of Self-Organizing Systems and Devices《,Springer,Berlin 1983.这本专著给出协同学的深刻数学基础。

与协同学有关的尚有 V·贝塔朗费推广的流平衡概念(参见 L·v·贝塔朗费:》Biophysik des Fließgleichgewichts《,Vieweg, Braunschweig 1953)。但 V·贝塔朗费假设生物系统中存在着流平衡,而协同学则还研究流平衡是如何建立和相互转移的。

## 4　流体模式、云图和地质构造

关于球体(行星大气层)上有序和混沌的流动模式的形成,尤其要参阅 R·弗里德里希和 H·哈肯在》Complex Systems-Operational Approaches《, hrsg. von H. Haken, Springer, Berlin 1985 中的文章。

## 5　"要有光"——激光

对于激光混沌,可见 C.O. Weiss, A. Godone 和 A. Olafsson:》Phys. Rev.《H28,892,1983.其间文献十分丰富。

## 6　化学模式

以下会议报道提供新的发展情况的概貌:C. Vidal and A. Pacault:》Nonequilibrium Dynamics in Chemical Systems《, Springer, Berlin 1984 和 V. I. Krinsky:》Self-Organization《, Springer, Berlin 1984.